

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Fran Bošković

Zagreb, rujan 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Student:

Fran Bošković

Zagreb, rujan 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Ovom prilikom želio bih se zahvaliti na iskazanoj pomoći svome mentoru Doc. dr. sc. Goranu Krajačiću na izradi završnoga rada. Posebno bih se želio zahvaliti svojoj obitelji koja me podržavala za vrijeme studija i izrade završnoga rada.

Fran Bošković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Fran Bošković

Mat. br.: 0035191028

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Virtualna elektrana za energetski samodostatne otoke**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Virtual power plant for energy self-sufficient islands**

Opis zadatka:

Teritorij Republike Hrvatske obuhvaća 49 naseljenih otoka u Jadranskom moru na kojima prema popisu iz 2011. godine živi 124.955 stanovnika. Mnoge studije i analize pokazuju da naseljeni hrvatski otoci mogu sve svoje energetske potrebe zadovoljavati iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije. Studije su radene za otoke Krk, Unije, Lošinj u Sjevernom Jadranu, te Mljet, Lastovo i Korčulu u Južnom Jadranu. Kako su svi naseljeni hrvatski otoci vezani na elektroenergetski sustav Republike Hrvatske, moguće je organizirati virtualnu elektranu kojom bi se dokazalo da će se sve potrebe za električnom energijom na otocima zadovoljiti iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije.

U radu je potrebno:

- Na osnovu dosadašnjih studija o potrošnji energije na hrvatskim otocima i dostupnih podataka o broju stanovnika, broju gostiju, broju i tipu poslovnih subjekata te namjeni i korištenju prostora procijeniti godišnje i satne potrebe za električnom energijom svih naseljenih otoka u Republici Hrvatskoj te napraviti projekcije potrošnje do 2050. godine, uzimajući u obzir mjere energetske učinkovitosti kao i napredak tehnologije,
- procijeniti i proračunati potencijal proizvodnje električne energije iz solarnih fotonaponskih elektrana i vjetroelektrana na naseljenim otocima Republike Hrvatske uvažavajući prostorna ograničenja,
- pomoću računalnih programa EnergyPLAN ili HOMER analizirati rad virtualne elektrane koja bi obuhvaćala proizvodna postrojenja i potrošače na naseljenim hrvatskim otocima.

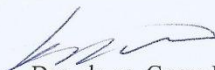
Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
25. travnja 2016.


Rok predaje rada:
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

Sadržaj

Sadržaj	I
Popis slika	III
Popis tablica	IV
Popis dijagrama	V
Popis oznaka.....	VI
Sažetak	VIII
Summary	IX
1. Uvod	1
1.1 Energetski samodostatan sustav	1
1.2 Tehnologije obnovljivih izvora energije	1
1.2.1 Tehnologije vjetroelektrana	2
1.2.2 Tehnologije solarnih fotonaponskih elektrana	3
1.2.3 Tehnologije skladištenja električne energije	5
1.3 Virtualne elektrane	6
2. Metode i podaci	7
2.1 Korišteni programi	7
2.1.1 EnergyPLAN.....	7
2.2 Finalna potrošnja energije	8
2.2.1 Zgradarstvo	8
2.2.2 Javna rasvjeta	9
2.2.3 Usluge	9
2.2.4 Promet	10
2.2.5 Finalna potrošnja električne energije	11
3. Podaci - hrvatski otoci i potrošnja energije	11
3.1 Hrvatski otoci.....	11
3.2 Turizam na hrvatskim otocima	15
3.3 Analiza potrošnje energije hrvatskih otoka.....	16

3.3.1	Projekcija potrošnje električne energije do 2050. godine	21
3.4	Potencijal proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije.....	23
3.4.1	Potencijal vjetra	24
3.4.2	Potencijal sunca	27
3.5	Metodologija	28
3.6	Distribucijske krivulje.....	29
4.	Proračuni i rezultati.....	33
4.1	Projekcije u EnergyPLAN-u	33
5.	Zaključak	39
6.	Literatura.....	40

Popis slika

Slika 1 : Dijelovi turbine [3]	2
Slika 2 : „on-shore“ vjetroelektrana [4]	2
Slika 3 : „off-shore“ vjetroelektrana [5].....	2
Slika 4 : Usporedba fosilnih goriva sa Sunčevom energijom [7].....	4
Slika 5 : Shema EnergyPLAN-a [12]	8
Slika 6 : Hrvatski otoci [13]	12
Slika 7 : Dobno spolna piramida od 2001. do 2011. godine [14]	15
Slika 8 : Srednja godišnja brzina vjetra na 80 metara od tla [24]	25
Slika 9 : Makro lokacije vjetroparkova hrvatskih otoka	26
Slika 10 : Sunčevo zračenje na horizontalnu površinu [27].....	28
Slika 11 : Potražnja i proizvodnja električne energije za siječanj i srpanj [12]	38

Popis tablica

Tablica 1 : Popis vjetroelektrana u Hrvatskoj [6]	3
Tablica 2 : Popis nekih fotonaponskih elektrana u Hrvatskoj.....	5
Tablica 3 : Trendovi kretanja stanovništva za pojedine otok.....	13
Tablica 4 : Stopa prirodne i migracijske promjene za skupine otoka [14].....	14
Tablica 5 : Broj stanova za turizam i broj noćenja.....	16
Tablica 6 : Potrošnja pojedinih sektora SEAP studija.....	17
Tablica 7 : Pojedini indikatori potrošnje energije	17
Tablica 8 : Godišnja stopa promjene 2000.-2050. godine [21]	21
Tablica 9 : Brzina vjetra na visini od 10 i 80 metara za određene makro lokacije	27
Tablica 10 : Potrošnja energije po sektorima	29
Tablica 11 : Instalirana snaga fotonaponskih panela na krovnim površinama	32

Popis dijagrama

Dijagram 1 : Krivulja potrošnje električne energije otoka Hvara [20]	18
Dijagram 2 : Krivulja godišnje raspodjele potražnje električne energije po mjesecima.....	19
Dijagram 3 : Satne potrebe za električnom energijom 5. kolovoza	20
Dijagram 4 : Satne potrebe za električnom energiju 15. siječnja	20
Dijagram 5 : Krivulja kretanja stanovništva RH u razdoblju od 2011. do 2050. godine	22
Dijagram 6 : Krivulja kretanja procjene potrebe za električnom energijom.....	23
Dijagram 7 : Distribucijska krivulja električne energije za hrvatske otoke	29
Dijagram 8 : Distribucijska krivulje vjetra za hrvatske otoke.....	30
Dijagram 9 : Distribucijska krivulja za PV od 1kW za hrvatske otoke	31
Dijagram 10 : Krivulja snage turbine E-70 u odnosu na brzinu vjetra [29].....	32
Dijagram 11 : Mjesečna raspodjela potražnje, uvoza, izvoza i proizvodnje iz OIE	33
Dijagram 12 : Simulacija s 10 % krovne površine za fotonaposke module odn. 50 MW i 50MW nazivne snage iz vjetroelektrana.....	34
Dijagram 13 : Simulacija s 30 % krovne površine za fotonaposke module odn. 149MW i 80MW nazivne snage iz vjetroelektrana.....	35
Dijagram 14 : Simulacija s 50 % krovne površine za fotonaposke module odn. 249MW i 150MW nazivne snage iz vjetroelektrana	36
Dijagram 15 : Simulacija s 70 % krovne površine za fotonaposke module odn. 348MW i 230MW nazivne snage iz vjetroelektrana	37

Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Naziv
PV	[-]	fotonaponska ćelija
CHP	[-]	Cogeneration or combined heat and power
OIE	[-]	obnovljivi izvori energije
E_{zgrad}	[J]	finalna potrošnja energije u zgradastvu
E_{zgrad,i}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradastvu
E_{zgrad,i,KR}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Krku
E_{zgrad,i,UN}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Unijama
E_{zgrad,i,LO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Lošinju
E_{zgrad,i,MT}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Mljetu
E_{zgrad,i,LA}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Lastovu
E_{zgrad,i,KO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu za grad Korčulu
E_{jav.ras.}	[J]	finalna potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti
E_{jav.ras,i}	[J]	potrošnja električne energije pojedinog otoka u javnoj rasvjeti
E_{jav.ras.,KR}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Krk
E_{jav.ras.,UN}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Unije
E_{jav.ras.,LO}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Lošinj
E_{jav.ras.,MT}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Mljet
E_{jav.ras.,LA}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Lastovo
E_{jav.ras.,KO}	[J]	potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za grad Korčulu
E_{usl}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru usluga
E_{usl,i}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga
E_{usl,i,KR}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Krku
E_{usl,i,UN}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Unije
E_{usl,i,LO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Lošinj
E_{usl,i,MT}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Mljet
E_{usl,i,LA}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Lastovo
E_{usl,i,KO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Korčula

E_{prom}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru prometa
E_{prom,i}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa
E_{prom,i,KR}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Krku
E_{prom,i,UN}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Unije
E_{prom,i,LO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Lošinj
E_{prom,i,MT}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Mljet
E_{prom,i,LA}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Lastovo
E_{prom,i,KO}	[J]	potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Korčula
E_{elek.ener}	[J]	finalna potrošnja električne energije svih hrvatskih otoka
E_{zgrad}	[J]	finalna potrošnja energije u zgradastvu
E_{usl}	[J]	finalna potrošnja energije u sektoru usluga
E_{jav.ras.}	[J]	finalna potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti
a	[J]	koeficijent postotnog udjela električne energije u sektoru zgradastvu
b	[J]	koeficijent postotnog udjela električne energije u sektoru usluga
Zotoci	[-]	ukupan broj stanovnika svih naseljenih hrvatskih otoka
Zotok	[-]	broj stanovnika promatranog otoka / grada

Sažetak

U ovome radu prikazan je postupak energetskeg modeliranja Hrvatskih otoka. Poseban naglasak se stavlja na postizanje samodostatnosti hrvatskih otoka. U radu se želi prikazati kako svih 49 naseljenih hrvatskih otoka mogu zadovoljavati svoje energetske potrebe umjesto iz elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije. U prvom dijelu rada analiziraju se hrvatskih otoci, geografski položaj, naseljenost kao i tehnologije kojima se želi ostvariti energetska samodostatnost hrvatskih otoka. Zatim su na osnovi podataka prethodnih studija, koje su izrađene za otoke Krk, Unije i Lošinj u sjevernom Jadranu, te Mljet, Lastovo i Korčula u južnom Jadranu, izračunati podaci za sve naseljene hrvatske otoke. Isto tako je u radu prikazana energetska projekcija potrošnje električne energije do 2050. godine, koja uzima u obzir praćenje trendova u mjerama energetske učinkovitosti kao i unapređenje tehnologije. Kako bi se mogla dokazati energetska samodostatnost hrvatskih otoka, potrebno je procijeniti i proračunati energetski potencijal samoobnovljivih izvora energije. Izvršena je projekcija energetskih potencijala dobivenih iz solarnih fotonaponskih elektrana i vjetroelektrana uzimajući u obzir i pojedine parametre trenutne legislativne situacije u Republici Hrvatskoj. U trećem dijelu rada je korištenjem računalnog programa EnergyPLAN za izračunavanje energetskih sustava analiziran rad virtualne elektrane, koja se odnosi na sve naseljene otoke u Hrvatskoj u cjelini. Također je izvršena analiza scenarija dobivenih rezultata, te analiza korištenja obnovljivih izvora energije s ciljem postizanja samodostatnosti otoka.

Ključne riječi: energetske planiranje, samodostatni hrvatski otoci, EnergyPLAN

Summary

In this study has been demonstrated an example of energy planning of the Croatian islands. A Special emphasis is placed on achieving self-sufficiency of the Croatian islands. The study aims to show how all of the 49 inhabited Croatian island can meet its energy demand from locally available renewable energy sources instead of depending to the power system of the Republic of Croatia. In the first part of the study we strive to analyze the Croatian islands themselves, the geographical location an population density. We strive as well to describe the technologies with whom we try to achieve energy self-sufficiency of the Croatian islands. Then, based on data from previous studies that have been done for the islands of Krk, Unije and Lošinj in the North Adriatic, and Mljet, Lastovo and Korčula in southern Adriatic data is been calculated for all the inhabited Croatian islands. Also in the study has been made an energy projection of electricity consumption by 2050, which takes consideration of following trends in energy efficiency measures as well as the advancement of technology. To prove energy self-sufficiency of the Croatian islands, it is necessary to assess and calculate the energy potential of self-renewable energy sources. It has been also made projections of potential for solar photovoltaic power plants and wind farms, taking into account some parameters of the current legislative situation in the Republic of Croatia. In the third part of the study, a computer program “EnergyPLAN“ has been used for calculating energy systems of virtual power plants, which applies to all inhabited islands in Croatia as a whole. He also analyzed the scenario of the results and analysis of the use of renewable energy sources with the objective of achieving self-sufficiency of the island.

Keywords: energy planning, self-Croatian islands, EnergyPLAN

1. Uvod

1.1 *Energetski samodostatan sustav*

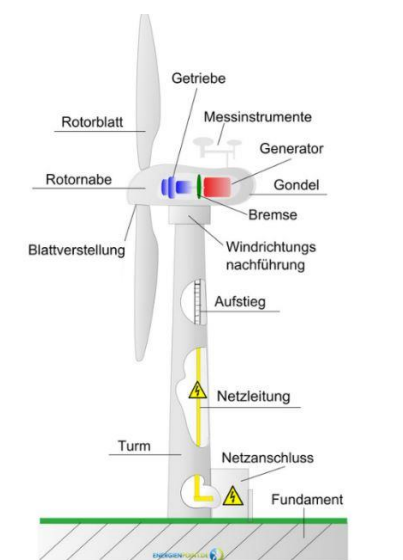
Globalni potencijal za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije je neiscrpan. U odnosu na konvencionalnu proizvodnju električne energije, vezanu za pojedinačne fiksne lokacije, proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije nudi fleksibilnost u pogledu mjesta proizvodnje. Za razliku od električne energije dobivene iz ugljena, plina, nafte ili nuklearnih elektrana koja mora biti unesena u energetska mrežu, koju zatim distribuira do samoga korisnika, pri lokalnoj proizvodnji energije izostaje potreba za energetska mrežom što smanjuje trošak gradnje i održavanja te mreže. Također energetska neovisnost doprinosi stvaranju povoljnijih klimatskih uvjeta na Zemlji kroz korištenje obnovljivih izvora energije. Za sustave korištenja obnovljivih izvora energije posebno su pogodna izolirana područja poput otoka na kojima ne postoje velike elektrane, koje stvaraju energiju iz konvencionalnih izvora energije. Što je veća potrošnja energije samih otoka to je kompliciranije adekvatno povezati otoke na kopnenu električnu mrežu. Uz to su otoci mjesta iznimne prirodne ljepote koju treba svakako očuvati, što pogotovo opravdava potrebu korištenja alternativnih rješenja. Svi hrvatski otoci su povezani na elektroenergetsku mrežu Hrvatske. Energetski potencijali za samodostatnost snabdijevanja su vjetar, sunce, biomasa i more koji okružuju otoke. [2]

1.2 *Tehnologije obnovljivih izvora energije*

Postoji više tehnologija obnovljivih izvora energije koje mogu stvarati energiju za samodostatne električne sustave. Prema tehnologiji proizvodnje energije u elektranama one se dijele na vjetroelektrane, solarne fotonaponske elektrane, hidroelektrane i elektrane na biomasu. Najveći potencijal za proizvodnju električne energije na hrvatskim otocima je iz vjetroelektrana i solarnih fotonaponskih elektrana. Samim time se težište ovoga rada bazira na tehnologijama vjetroelektrana i solarnih fotonaponskih elektrana koje bi mogle napajati hrvatske otoke, kako ne bi ovisili o postojećoj energetska mreži, već bi bili samodostatni.

1.2.1 Tehnologije vjetroelektrana

Vjetroelektrane su elektrane koje čini više vjetroturbina koje se nalaze na položaju na kojemu je vjetar povoljan za proizvodnju električne energije. Potencijal vjetra se izračunava preko snage vjetra koja se dobiva tako da se brzina vjetra pomnoži sama sa sobom tri puta.

$$\text{Snaga vjetra} \sim (\text{Brzina vjetra})^3$$


Slika 1 : Dijelovi turbine [3]

Minimalan potreban godišnji prosjek brzine vjetrova za isplativosti vjetroelektrane je oko $4\frac{m}{s}$ - $5\frac{m}{s}$. Osnovna karakteristika vjetrova pogodnog za proizvodnju energije je da je konstantan i da se navedeni uvjeti ostvaruju otprilike na visini od 10 do 80 metara od tla. Vjetrov pokreće lopatice rotora koji u unutrašnjosti kućišta opet pokreću generator koji proizvodi električnu energiju. U samom podnožju postrojenja transformator je pretvara u električnu energiju koju zatim stavlja u električnu mrežu. Vrste vjetroparkova se dijele na vjetroelektrane koje se nalaze na kopnu (tzv. „onshore“ vjetroelektrane) i vjetroelektrane se koje se nalaze na moru (tzv. „offshore“ vjetroelektrane).



Slika 2 : „on-shore“ vjetroelektrana [4]

Slika 3 : „off-shore“ vjetroelektrana [5]

Novost u svijetu „off-shore“ vjetroelektrana su plutajuće elektrane. U odnosu na konvencionalne elektrane koje su temeljima čvrsto pričvršćene za dno, plutajuće su vjetroelektrane pričvršćene sidrištem. To ih čini u teoriji jeftinijima i slobodnijima.

Po podacima iz lipnja 2014. godine u Hrvatskoj je u funkciji 12 vjetroelektrana koje su sve „onshore“ vjetroelektrane. Od ukupnih 12 vjetroelektrana samo se 1 vjetroelektrana nalazi na otoku Pagu (Vjetroelektrana „Ravna 1“). Vjetroelektrana „Ravna 1“ nazivne je snage 5,95 MW i ona je ujedno i prva sagrađena vjetroelektrana u Hrvatskoj. [6]

Tablica 1 : Popis vjetroelektrana u Hrvatskoj [6]

Vjetroelektrana	Instalirana snaga (MW)	Županija	Godišnja proizvodnja (GWh)	Puštena u rad
VE Danilo	43,7	Šibensko-kninska županija	100	2014.
VE Vrataruša	42	Ličko-senjska županija	125	2011.
VE Kamensko-Voštane	40	Splitsko-dalmatinska županija	114	2013.
VE Bruška	36,8	Zadarska županija	122	2012.
VE Ponikve	36,8	Dubrovačko-neretvanska županija	122	2013.
VE Jelinak	30	Splitsko-dalmatinska županija	81	2013.
VE Trtar-Krtolin	11,2	Šibensko-kninska županija	28	2006.
VE Crno Brdo	10	Šibensko-kninska županija	27	2011.
VE Orlice	9,6	Šibensko-kninska županija	25	2009.
VE Velika Popina	9,2	Zadarska županija	26	2011.
VE Ravne 1	6	Zadarska županija	15	2004.
VE Pometeno Brdo 1	6	Splitsko-dalmatinska županija	15	2012.
Ukupno	280,5		810	

1.2.2 Tehnologije solarnih fotonaponskih elektrana

Tehnologija solarnih fotonaponskih elektrana bazira se na Sunčevoj energiji. Sunce isijava Sunčevu energiju koja je obnovljiv i prema ljudskom poimanju neograničen izvor energije. Od Sunčeve energije potječe većina drugih izvora energije, što izravno što neizravno. Sunce isijava u svemir zračenje snage $3.8 \cdot 10^{26}$ W, a od samog toga Zemlja koja se nalazi u njegovom Sunčevom sustavu dobiva snage $1.7 \cdot 10^{17}$ W. Preračunato u jedinicu Joule (J) to je $4 \cdot 10^{24}$ J energije godišnje koje Sunčevim zračenjem dopiye na Zemljinu površinu. Ekvivalent te energije je da ta energija iznosi 7500 puta više nego ukupna godišnja potrošnja energije iz primarnih izvora energije. Uzimajući u obzir takvu količinu energije, nameće se logičan zaključak da solarne fotonaponske elektrane trebaju biti što veći iskoristivi potencijal.



Slika 4 : Usporedba fosilnih goriva sa Sunčevom energijom [7]

Fotonaponski sustavi izravno pretvaraju Sunčevu energiju u električnu energiju. Glavni dio fotonaponskog sustava je fotonaponska ćelija ili „photovoltaic“ (PV). To je poluvodič pomoću kojeg se svjetlost Sunčevog zračenja izravno pretvara u električnu energiju. Pri izloženosti svjetlosti poluvodičkog elementa na krajevima nastaje napon čime fotonaponska ćelija postaje izvor električne struje. Efekt pri kojem se Sunčevo zračenje izravno pretvara u električnu energiju naziva se fotonaponski efekt. Same fotonaponske ćelije su većinom iz silicija kao poluvodiča ali i iz bakrenog i indijevog selenida, kadmijevog telurida itd. Fotonaponske ćelije se spajaju paralelno ili serijski u module. Glavna podjela fotonaponskih sustava je na:

1. Sustavi koji nisu priključeni na mrežu („off-grid“) te se i često nazivaju autonomnim, samostalnim ili otočnim sustavima
2. Sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu („on-grid“)

Razlika i velika prednost u odnosu na vjetroturbine je ta da fotonaponski moduli nemaju pokretnih dijelova. Solarna fotonaponska elektrana je fotonaponski „on-grid“ sustav što znači da proizvedenu električnu energiju predaje u elektroenergetski sustav, za razliku od samostalnog ili otočnog sustava u kojima proizvedenu električnu energiju najčešće skladištimo u baterije ili akumulatore. [9] U Hrvatskoj su najviše zastupljeni manji sustavi snage do 30 kW, a broj elektrana snage veće od 100 kW je manji od 100. Sami udio instalirane snage fotonaponskih elektrana u Republici Hrvatskoj iznosi od 0.44% , čime se može zaključiti kako postoji veliki potencijal za poboljšanjem. [8]

Tablica 2 : Popis nekih fotonaponskih elektrana u Hrvatskoj

Fotonaponska elektrana	Lokacija	Nazivna snaga (kWp)	Godišnja proizvodnja (MWh)
Petrokov	Sveta Klara - Zagreb	400	400
Kukuljanovo	IZ Kukuljanovo (nedaleko Rijeke)	282,94	300
Tehnix	Donji kraljevec	104,96	-
Solektra	Križoptje	29,92	45
kuća Stilin	Tvornica Jeans - Zagreb	29	30
Solvis	Varaždin	20,6	15
Lovrić	Sikirevci	9,88	-
Oreco	Crikvenica	6,12	-
Ukupno		883,42	790

U tablici su navedeni neki od instaliranih sustava fotonaponskih ćelija u Hrvatskoj. Može se primijetiti kao prvo da su sustavi manje nazivne snage, te slijedeće da se većinom nalaze u kontinentalnoj Hrvatskoj gdje je Sunčev potencijal manji nego na hrvatskim otocima.

Prema [10] najveću solarnu elektranu u Hrvatskoj, snage dva megavata (2MW), vrijednu tri milijuna eura, uskoro bi na Visu trebala početi graditi tvrtka "Končar-obnovljivi izvori energije".

1.2.3 Tehnologije skladištenja električne energije

Tehnologije skladištenja električne energije su moguće na različite načine. Moduli za spremanje mogu se zasnivati na elektrolizeru, na spremniku za vodik i gorivim ćelijama, ili na hidro spremnicima za pumpanje vode, reverzibilnoj hidroturbini ili na baterijama. Priljev u sustav spremnika je ograničen s odabranom snagom elektrolizera, pumpi, te kapacitetom punjenja baterija, pa višak električne energije iz obnovljivih izvora može biti veći od mogućnosti spremanja ili ne može biti spremljen zbog potpunosti spremnika, te mora biti poslan u mrežu na kopnu, ako postoji veza s njom i ako nema ograničenja na udio obnovljivih izvora u elektroenergetskom sustavu. U krajnjem slučaju, ako nije ispunjen niti jedan od prije navedenih uvjeta višak električne energije biti će odbačen. Svaka jedinica za spremanje radi s određenim stupnjem učinkovitosti, koji iznosi 40-60% za elektrolizer, oko 70% za pumpe, te 90% za baterije. Od elektrolizera se očekuje da proizvodi vodik koji je već na tlaku pogodnom za spremanje kako bi se izbjeglo komprimiranje. Sama veličina spremnika i izlazni tlak elektrolizera ograničavaju kapacitet spremnika. Volumen gornjeg rezervoara i maksimalni volumen vode za pumpanje u donjem rezervoaru ograničavaju količinu vode koja može biti prepumpana. Kapacitet baterija je dan od proizvođača. Maksimalni volumen vode raspoložive za pumpanje u donjem rezervoaru treba biti postavljen kao ukupna spremljena voda u donjem rezervoaru, koja može biti neograničena ako je donji rezervoar more, ili mogu biti uzete u obzir

potrebe za vodom npr. potrošnja vode iz vodovoda ako se spremnik koristi u te svrhe. Spremljeni vodik može se iskoristiti u bilo kojem trenutku u stacionarnoj gorivoj ćeliji ili za mobilne gorive ćelije u vozilima, tako da on može poslužiti kao temeljni kamen u provođenju transporta s klasičnog goriva u transport s vodikom. Male gorive ćelije mogu biti kontrolirane mrežom, ali one veće moraju imati frekvencijsku i naponsku regulaciju. Goriva ćelija može potrošiti samo onoliko vodika koliko ga ima u spremniku, a njena izlazna snaga u bilo kojem trenutku ne može nikad biti veća od opterećenja elektroenergetskog sustava. Voda spremljena u gornjem rezervoaru može biti iskorištena u bilo kojem trenutku ili za pokretanje hidroturbine, ili za zadovoljavanje vodnog opterećenja. Turbinsko postrojenje ima iskoristivost oko 70%, ono koristi vodu iz gornjeg rezervoara. Proizvodi električnu energiju koja ide u otočnu mrežu, te puni donji spremnik. Turbinski generator će najčešće imati regulaciju snage, frekvencije i napona, a često može imati i regulaciju izlazne snage. Turbine mogu koristiti samo onu količinu vode koja je spremljena u gornji rezervoar, a njena izlazna snaga ne može niti u jednom momentu biti veća od opterećenja. Najčešće se na otocima kao spremnik koriste baterije, jer su najjednostavnije za primjenu i cjenovno lako dostupne.

1.3 Virtualne elektrane

Virtualna elektrana je elektrana koja povezuje više decentraliziranih proizvodnih jedinica, kao što su fotonaponski sustavi, hidroelektrane, postrojenja na biomasu, vjetroturbine i kogeneracijske jedinice, upravljanih jednim centralnim sistemom. Takva elektrana je pouzdan izvor električne energije, budući da se oslanja na različite osnovne resurse kao izvore energije, čime je osiguran stalan dotok pogonske energije, konkurira konvencionalnim velikim postrojenjima za proizvodnju električne energije. Virtualne elektrane omogućavaju veću fleksibilnost i efikasnost od klasičnih elektrana, jer se u kratkom vremenu (vrijeme maksimalnih potreba za električnom energijom) mogu uključiti u proizvodnju i pokriti povećane potrebe. Naziv virtualna elektrana ne potječe od toga da se radi o dobivanju fiktivne električne energije, već da se električna energija proizvodi iz više izvora i lokacija. U svijetu već postoji niz izgrađenih i upogonjenih virtualnih elektrana (Škotska).

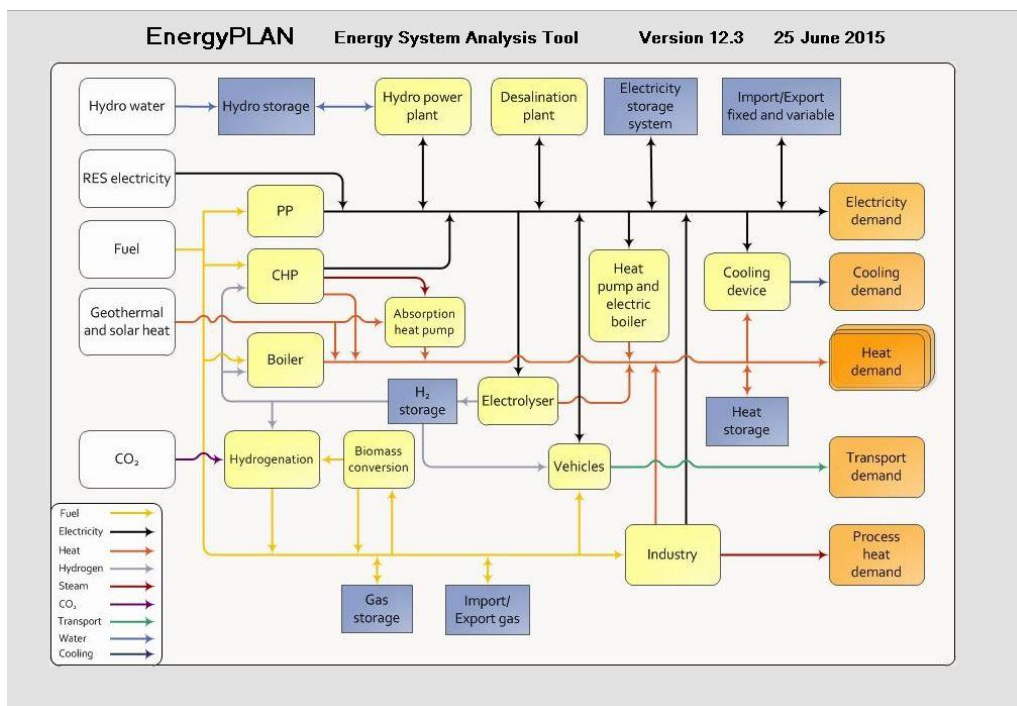
2. Metode i podaci

2.1 *Korišteni programi*

U izradi ovoga rada je korišten program EnergyPLAN, razvijen i održavan od strane Energy Research Group iz Aalborg University, Danska, a simulira rad nacionalnih energetske sustava na satnoj osnovi, uključujući električnu energiju, grijanje, hlađenje, industriju i transport.

2.1.1 *EnergyPLAN*

EnergyPLAN je računalni model za analizu energetske sustava. Glavna funkcija modela je analiza energetske, okolišnog i ekonomskog utjecaja različitih energetske strategije. Cilj je razvijanje više različitih rješenja kako bi ona mogla biti međusobno uspoređivana, što se svakako smatra efikasnijim od korištenja samo jednog rješenja. Na taj način, model se koristi u razvoju nacionalnih energetske strategije kroz energetske planiranje. Strategija energetske planiranja bazira se na analizi različitih nacionalnih energetske sustava kroz dva aspekta – tehnički, uključujući tehničke karakteristike sustava i njegove komponente i ekonomski, koji podrazumijeva različite troškove investicije, potrošnje, cijene i ostale tržišne parametre. Osim na nacionalnoj, model je korišten i za analizu na europskoj i regionalnoj razini. Model je u prvoj verziji razvijen 1999. godine i od samog početka naglašava analizu različitih regulacijske strategije s posebnim fokusom na interakciju između CHP sustava i OIE. Model se temelji na definiranju i analizi ulaznih i izlaznih parametara. Ulazni parametri su potrošnja energije, obnovljivi izvori, kapaciteti instaliranih postrojenja, troškovi i razne regulacijske strategije. Izlazni parametri su energetske bilance, godišnja proizvodnja, potrošnja energije, uvoz i izvoz energije te ukupni troškovi. Fokus ovog modela je na budućim energetske sustavima i načinu njihovog rada. Također, ističe se kako je model deterministički, što znači da za iste vrijednosti ulaznih parametara, uvijek dobivamo iste izlazne parametre. On također optimizira upravljanje radom zadanog sustava, a ne investicije u taj sustav. Naravno, analizirajući različite sustave i njihove investicije, moguće je doći do zaključaka o isplativosti. Konačno, treba napomenuti i kako model radi sa satnim vremenskim korakom, odnosno kako analizira sustav kroz jednu godinu podijeljenu na 8 784 vremenska koraka (366 dana), što za posljedicu ima mogućnost analize oscilacije OIE na sustav, kao i tjedne i sezonske razlike u zahtjevima za električnom i toplinskom energijom [11]. Dijagram toka modela.



Slika 5 : Shema EnergyPLAN-a [12]

2.2 Finalna potrošnja energije

U ovom poglavlju je prikazan izračun potrošnje energije po sektorima za hrvatske otoke. U radu su promatrani sektori zgradarstva, javna rasvjeta, usluge, turizam i promet. Svi dobiveni podaci su korišteni iz SEAP studija. Korištene su SEAP studije za otoke Krk, Unije, Lošinj, na sjevernom Jadranu, te Mljet, Lastovo i Korčulu na južnom Jadranu.

2.2.1 Zgradarstvo

$$E_{\text{zgrad}} = \sum E_{\text{zgrad},i} \quad (1)$$

Jednadžba (1) prikazuje izračun potrošnje energije u sektoru zgradarstva za sve hrvatske otoke. [11]

- E_{zgrad} – finalna potrošnja energije u zgradastvu
- $E_{\text{zgrad},i}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradastvu
- i – oznaka pojedinog energenta

$$E_{\text{zgrad},i} = (E_{\text{zgrad},i,\text{KR}} + E_{\text{zgrad},i,\text{UN}} + E_{\text{zgrad},i,\text{LO}} + E_{\text{zgrad},i,\text{MT}} + E_{\text{zgrad},i,\text{LA}} + E_{\text{zgrad},i,\text{KO}}) \cdot \frac{Z_{\text{otoci}}}{Z_{\text{otok}}}$$

- $E_{zgrad,i,KR}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Krku
- $E_{zgrad,i,UN}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Unijama
- $E_{zgrad,i,LO}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Lošinju
- $E_{zgrad,i,MT}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Mljetu
- $E_{zgrad,i,LA}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu na otoku Lastovu
- $E_{zgrad,i,KO}$ – potrošnja pojedinog energenta u zgradarstvu za grad Korčulu
- Z_{otoci} – ukupan broj stanovnika svih naseljenih hrvatskih otoka
- Z_{otok} – broj stanovnika promatranog otoka / grada

2.2.2 Javna rasvjeta

$$E_{jav.ras.} = \sum E_{jav.ras.,i} \quad (2)$$

Jednadžba (2) prikazuje izračun potrošnje energije u sektoru javne rasvjete za sve hrvatske otoke. Primarni i jedini energent u javnoj rasvjeti je električna energija. [11]

- $E_{jav.ras.}$ – finalna potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti
- $E_{jav.ras,i}$ – potrošnja električne energije pojedinog otoka u javnoj rasvjeti
- i – oznaka pojedinog otoka

$$\sum E_{jav.ras,i} = (E_{jav.ras.,KR} + E_{jav.ras.,UN} + E_{jav.ras.,LO} + E_{jav.ras.,MT} + E_{jav.ras.,LA} + E_{jav.ras.,KO}) \cdot \frac{Z_{otoci}}{Z_{otok}}$$

- $E_{jav.ras.,KR}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Krk
- $E_{jav.ras.,UN}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Unije
- $E_{jav.ras.,LO}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Lošinj
- $E_{jav.ras.,MT}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Mljet
- $E_{jav.ras.,LA}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za otok Lastovo
- $E_{jav.ras.,KO}$ – potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti za grad Korčulu
- Z_{otoci} – ukupan broj stanovnika svih naseljenih hrvatskih otoka
- Z_{otok} – broj stanovnika promatranog otoka / grada

2.2.3 Usluge

$$E_{usl} = \sum E_{usl,i} \quad (3)$$

Jednadžba (3) prikazuje izračun potrošnje energije u sektoru usluga za sve hrvatske otoke. U većinu usluga koje se vrše spadaju turističke djelatnosti na otocima. [11]

- E_{usl} – finalna potrošnja energije u sektoru usluga

- $E_{usl,i}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga
- i – oznaka pojedinog energenta

$$E_{usl,i} = (E_{usl,i,KR} + E_{usl,i,UN} + E_{usl,i,LO} + E_{usl,i,MT} + E_{usl,i,LA} + E_{usl,i,KO}) \cdot \frac{Z_{otoci}}{Z_{otok}}$$

- $E_{usl,i,KR}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Krku
- $E_{usl,i,UN}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Unije
- $E_{usl,i,LO}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Lošinj
- $E_{usl,i,MT}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Mljet
- $E_{usl,i,LA}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Lastovo
- $E_{usl,i,KO}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru usluga na otoku Korčula
- Z_{otoci} – ukupan broj stanovnika svih naseljenih hrvatskih otoka
- Z_{otok} – broj stanovnika promatranog otoka / grada

2.2.4 Promet

$$E_{prom} = \sum E_{prom,i} \quad (4)$$

Jednadžba (4) prikazuje izračun potrošnje energije u sektoru prometa za sve hrvatske otoke. U sektoru prometa prevladaju kao energenti benzin i dizel. [11]

- E_{prom} – finalna potrošnja energije u sektoru prometa
- $E_{prom,i}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa
- i – oznaka pojedinog energenta (dizel, benzin)

$$E_{prom,i} = (E_{prom,i,KR} + E_{prom,i,UN} + E_{prom,i,LO} + E_{prom,i,MT} + E_{prom,i,LA} + E_{prom,i,KO}) \cdot \frac{Z_{otoci}}{Z_{otok}}$$

- $E_{prom,i,KR}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Krku
- $E_{prom,i,UN}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Unije
- $E_{prom,i,LO}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Lošinj
- $E_{prom,i,MT}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Mljet
- $E_{prom,i,LA}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Lastovo
- $E_{prom,i,KO}$ – potrošnja pojedinog energenta u sektoru prometa na otoku Korčula
- Z_{otoci} – ukupan broj stanovnika svih naseljenih hrvatskih otoka
- Z_{otok} – broj stanovnika promatranog otoka / grada

2.2.5 Finalna potrošnja električne energije

$$E_{\text{elek.ener.}} = a \cdot E_{\text{zgrad}} + b \cdot E_{\text{usl}} + E_{\text{jav.ras.}} \quad (5)$$

Jednadžba (5) prikazuje izračun potrošnje električne energije u svim sektorima zajedno za sve hrvatske otoke.

- $E_{\text{elek.ener}}$ – finalna potrošnja električne energije svih hrvatskih otoka
- E_{zgrad} – finalna potrošnja energije u zgradastvu
- E_{usl} - finalna potrošnja energije u sektoru usluga
- $E_{\text{jav.ras.}}$ - finalna potrošnja električne energije u javnoj rasvjeti
- a – koeficijent postotnog udjela električne energije u sektoru zgradastvu
- b - koeficijent postotnog udjela električne energije u sektoru usluga

3. Podaci - hrvatski otoci i potrošnja energije

3.1 Hrvatski otoci

Hrvatska se nalazi na sjevernoj Zemljinoj polutci. Površinom od 56 542 km² pripada donjem dijelu ljestvice srednje velikih država Europe, te broji po zadnjem popisu stanovništva 2011. godine 4 284 889 stanovnika. Ukupna dužina kopnenih granica je 2 028 km, a obalne linije 5 835 km, te obala spada u jedne od najrazvedenijih obala na svijetu. Teritorij Republike Hrvatske broji sveukupno 1 244 otoka, otočića, hridi ili grebena. Otoci su dijelovi kopna površine veće od 1 km² koji se mogu nalaziti u rijeci, jezeru ili moru. Od toga je 78 otoka, 524 otočića i 642 hridi i grebena. Od navedenih 78 otoka koji u sastavu Republike Hrvatske naseljeno ih je 49. Sveukupna površina svih naseljenih otoka iznosi 3080,427 km², te ukupan broj stanovnika po popisu stanovništva 2011. godine iznosi 125 893 stanovnika. Sama površina otoka čini 5,44% posto kopnenog teritorija te na njima u odnosu na ostatak države živi samo 2,9% od sveukupnog stanovništva.



Slika 6 : Hrvatski otoci [13]

S obzirom na popis stanovništva 2011. godine otoci broje 4268 stanovnika više u odnosu na 2001. godinu. Ovo povećanje broja stanovnika je ustvari prividno. Prividno je jer stanovnici fiktivno prijavljuju mjesto boravka na otocima (često u kućama za odmor) radi stjecanja socijalnih povlastica. Trendovi migracija na hrvatskim otocima su takvi da broj stanovnika sve više opada. Negativni trend smanjenja broj stanovnika (osim za nekoliko primjera kao što su Lošinj i Krk) se objašnjavaju ekonomskim razlozima kao i uslijed demografske politike. Na otocima ostaje živjeti starije dobno stanovništvo što prouzrokuje opadanju nataliteta otoka te samim time i negativni prirodni prirast. Trendovi kretanja stanovnika za hrvatske otoke dani su u tablici koja slijedi.

Tablica 3 : Trendovi kretanja stanovništva za pojedine otok

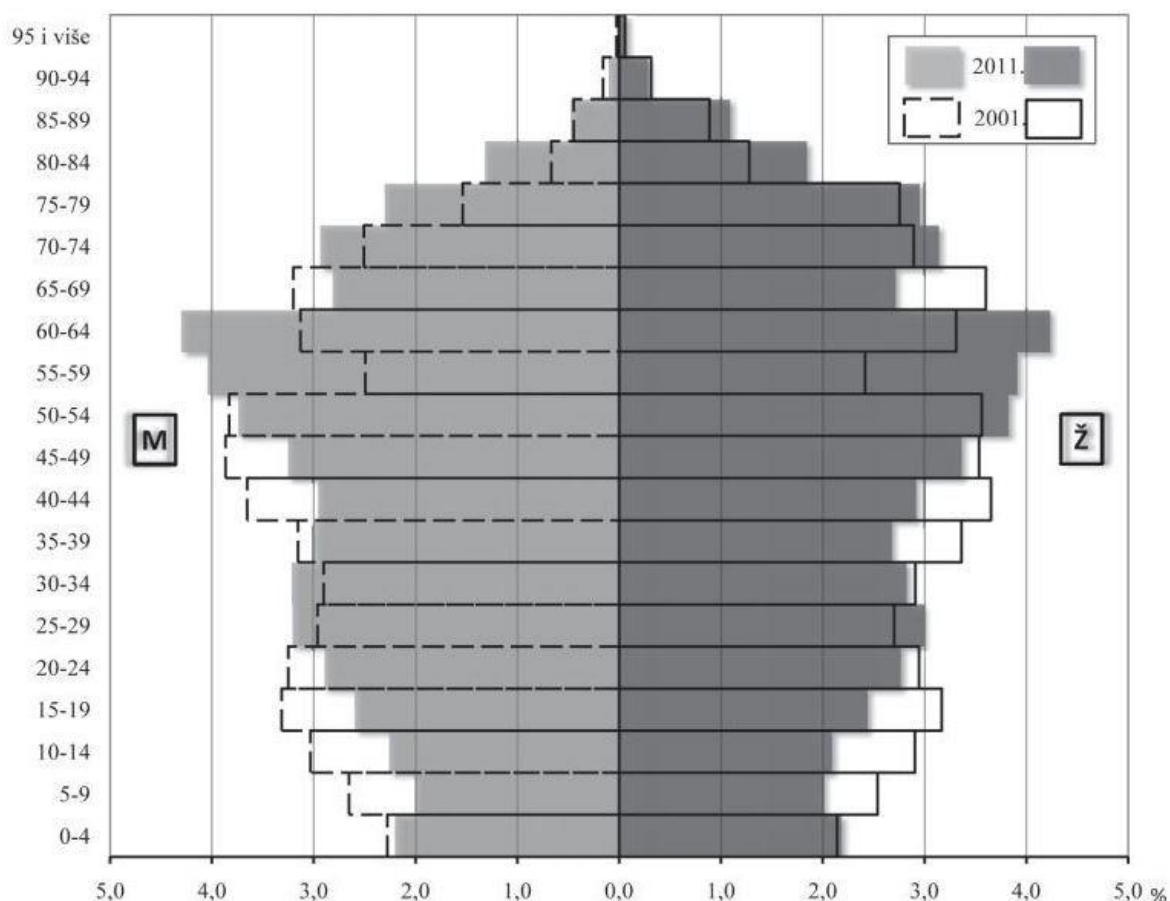
Otok	Popis stanovništva 2001.	Popis stanovništva 2011.	Postotak promjene stanovnika (%)
Krk	17860	19383	8,53
Korčula	16182	15522	-4,08
Brač	14031	13956	-0,53
Hvar	11103	11077	-0,23
Rab	9480	9328	-1,60
Pag	8398	9059	7,87
Lošinj	7771	8116	4,44
Ugijan	6182	6157	-0,40
Murter	5060	5138	1,54
Čiovo	4455	5996	34,59
Vis	3617	3460	-4,34
Cres	3184	2879	-9,58
Pašman	2711	2949	8,78
Dugi Otok	1772	1698	-4,18
Vir	1608	3000	86,57
Šolta	1479	1700	14,94
Mljet	1111	1088	-2,07
Lastovo	835	792	-5,15
Iž-dio grada Zadra	557	615	10,41
Prvič	453	403	-11,04
Šipan	436	419	-3,90
Koločep	294	174	-40,82
Zlarin	276	276	0,00
Lopud	269	269	0,00
Silba	265	292	10,19
Vrgada	242	249	2,89
Krapanj	237	170	-28,27
Molat	207	197	-4,83
Ist	202	182	-9,90
Susak	188	151	-19,68
Drvenik Veli	168	140	-16,67
Olib	147	140	-4,76
Kaprije	143	189	32,17
Žirje	124	103	-16,94
Ilovik	104	85	-18,27
Rava	98	117	19,39
Unije	90	88	-2,22
Premuda	58	64	10,34
Drvenik Mali	54	92	70,37
Sestrunj	48	48	0,00
Zverinac	48	43	-10,42
Rivanj	22	31	40,91
Biševo	19	15	-21,05
Ošljak	18	29	61,11
Vele Srakane	8	3	-62,50
Kornat	7	7	0,00
Male Srakane	2	2	0,00
Sveti Andrija	1	1	0,00
Veliki Budikovac	1	1	0,00
Ukupno	121625	125893	2,48

Iz priložene tablice može se zaključiti kako su trendovi migracija hrvatskih otoka negativni. Može se vidjeti da broj stanovnika u odnosu na popis stanovništva iz 2001. godine pada od minimalnih 0.4% do u nekim slučajevima čak 62.5%. Pozitivan trend stanovništva broje otoci koji imaju više od 2000 stanovnika kao Krk, Lošinj, Pag, Murter, Čiovo i Pašman. Razlog tome su povoljni ekonomski uvjeti, te dobra prometna povezanost s kopnom, koja time omogućava lakše kretanje stanovništva i zadržava mlađe naraštaje na otocima.

Tablica 4 : Stopa prirodne i migracijske promjene za skupine otoka [14]

Otočna skupina	Stopa popisne promjene (‰)	Stopa prirodne promjene (‰)	Stopa migracija (‰)	Tip	Trend
Kvarnerski otoci	2,6	-2,7	5,3	I ₃	slaba obnova imigracijom
Sjevernodalmatinski otoci	8,7	-6,9	15,6	I ₂	obnova imigracijom
Srednjodalmatinski otoci	0,6	-5,0	5,6	I ₃	slaba obnova imigracijom
Južnodalmatinski otoci	-4,2	-4,0	-0,2	E ₄	izumiranje
Dalmatinski otoci	1,8	-5,3	7,1	I ₃	slaba obnova imigracijom
Premošteni otoci	9,8	-2,9	12,7	I ₂	obnova imigracijom
Nepremošteni otoci	-1,7	-5,2	3,6	I ₄	vrlo slaba obnova imigracijom
Mali otoci	-1,7	-20,8	19,1	I ₄	vrlo slaba obnova imigracijom
Hrvatski otoci	2,1	-4,5	6,5	I₃	slaba obnova imigracijom

Iz tablice koja je rađena za razdoblje od 2001. do 2011. godine [14] se vidi stopa prirodne promjene i migracijske promjene za skupine otoka. Jedini pozitivan trend bilježe otoci kao što je već spomenuto koji su premošteni. Generalno gledano se hrvatski otoci teško obnavljaju imigracijom, te se nju može smatrati samo prolaznim trendom, zbog ograničenosti životnog prostora na otoku. Glavnu sliku otoka daje dobno spolna piramida. U navedenoj slici vidimo promjenu dobno spolne piramide od 2001. do 2011. godine. Kao što je već spomenuto je stanovništvo sve starije što se vidi i iz slike. Pozitivnu promjenu u dobnoj skupini od 25 do 35 godina možemo pripisati lažnom prijavom mjesta boravka, te izuzetcima za otoke koje su cestovno povezani s kopnom. Nažalost trendovi su takvi da hrvatskih otoci populacijski izumiru.



Slika 7 : Dobno spolna piramida od 2001. do 2011. godine [14]

3.2 Turizam na hrvatskim otocima

Hrvatski turizam je jedna od najvažnijih gospodarskih grana Republike Hrvatske. Povijest turizma u Hrvatskoj seže do sredine 19. stoljeća u razdoblje oko 1850. godine. Uspješno se razvijao sve do današnjih dana, a danas je Hrvatska jedno od najposjećenijih i najvažnijih turističkih odredišta Sredozemlja. Turizam u Hrvatskoj se temelji na prirodnim ljepotama što ima direktni utjecaj na naše otoke koji su iznimne ljepote. Prema podacima Instituta za turizam je u 2015. godini Hrvatska ostvarila 71.6 milijuna noćenja. Pojedinačni podaci noćenja za svaki naš otok nisu dostupni, te je tako u ovome radu korišten prosječan broj noćenja po smještajnoj jedinici za otoke čiji su podaci poznati. Prema podacima iz popisa stanovništva 2011. godine je brojčano 1 328 352 smještaja registrirano za iznajmljivanje turistima koji su zatim u 2015. godini ostvarili 20 259 981 noćenja. Ta brojka ostvarenih noćenja čini skoro 30% sveukupnog noćenja u turističkim kapacitetima pa se samim time nameće kako je vršna potrošnja energije na otocima u ljetnim mjesecima. [15]

Tablica 5 : Broj stanova za turizam i broj noćenja

Otok	Stanovi u kojima se samo obavljala djelatnost iznajmljivanje turistima	Broj noćenja 2015. godine	Otok2	Stanovi u kojima se samo obavljala djelatnost iznajmljivanje turistima 2	Broj noćenja 2015. godine 2
Krk	234279	4174000	Silba	1948	37248
Korčula	104135	757000	Vrgada	1661	31763
Brač	97243	1398000	Krapanj	1134	21686
Hvar	142534	1322000	Molat	1314	25130
Rab	158467	1768000	Ist	1214	23216
Pag	262352	2409000	Susak	1008	19262
Lošinj	47405	1827000	Drvenik Veli	934	17859
Ugljan	22350	427288	Olib	934	17859
Murter	57568	2635000	Kaprije	1261	24109
Čiovo	63556	642000	Žirje	687	13139
Vis	27744	530411	Ilovik	567	10843
Cres	29577	819000	Rava	781	14925
Pašman	12482	238631	Unije	587	11225
Dugi Otok	9816	187663	Premuda	427	8164
Vir	7942	151835	Drvenik Mali	614	11736
Šolta	8779	167837	Sestrunj	320	6123
Mljet	5136	98190	Zverinac	287	5485
Lastovo	6328	120979	Rivanj	207	3954
Iž-dio grada zadra	4103	78451	Biševo	100	1913
Prvič	2689	51407	Ošljak	193	3699
Šipán	2796	53448	Vele Srakane	20	383
Koločep	1161	22196	Kornat	47	893
Zlarin	1842	35207	Male Srakane	13	255
Lopud	1795	34314	Sveti Andrija	7	128
			Veliki Budikovac	7	128
Ukupno				1328352	20259981

3.3 Analiza potrošnje energije hrvatskih otoka

Analizu potrošnje energije hrvatskih otoka s visokom razinom točnosti je iznimno teško provesti zbog toga što ne postoje izdvojeni podaci o potrošnji energije na razini hrvatskih otoka. Iz toga razloga su u ovome radu kao izvor podataka za potrošnju energije korištene SEAP studije za otoke Krk [16], Unije, Lošinj, na sjevernom Jadranu, te Mljet [18], Lastovo [19] i Korčulu [17] na južnom Jadranu. SEAP studije daju podatke o potrošnji energije pojedinih otoka i to za sektore zgradarstva (kućanstvo i druge usluge zajedno), prometa, usluge i javne rasvjete. U SEAP studijama nisu dostupni podaci za sektore industrije, poljoprivrede i graditeljstva, no kako su ti sektori na hrvatskim otocima u jakom malom broju zastupljeni oni se zanemaruju. Glavnina energetske potrošnje hrvatskih otoka se odnosi na zgradarstvo (kućanstvo), te promet. Glavni izvori prihoda na hrvatskim otocima su turizam i u manjim udjelima poljoprivreda i ribarstvo. Kako nisu rađene SEAP studije za sve otoke, te od 49 naseljenih hrvatskih otoka tek njih 17 broji populaciju stanovništva veću od 1000 stanovnika, nema točnih podataka o potrošnji energije. Isto tako ostatak stanovništva na preostalim 32 otoka čini manje od 5% stanovnika svih naseljenih otoka pa se time može primijeniti aproksimativna metoda procjene potrošnje energije za preostale otoke.

Tablica 6 : Potrošnja pojedinih sektora SEAP studija

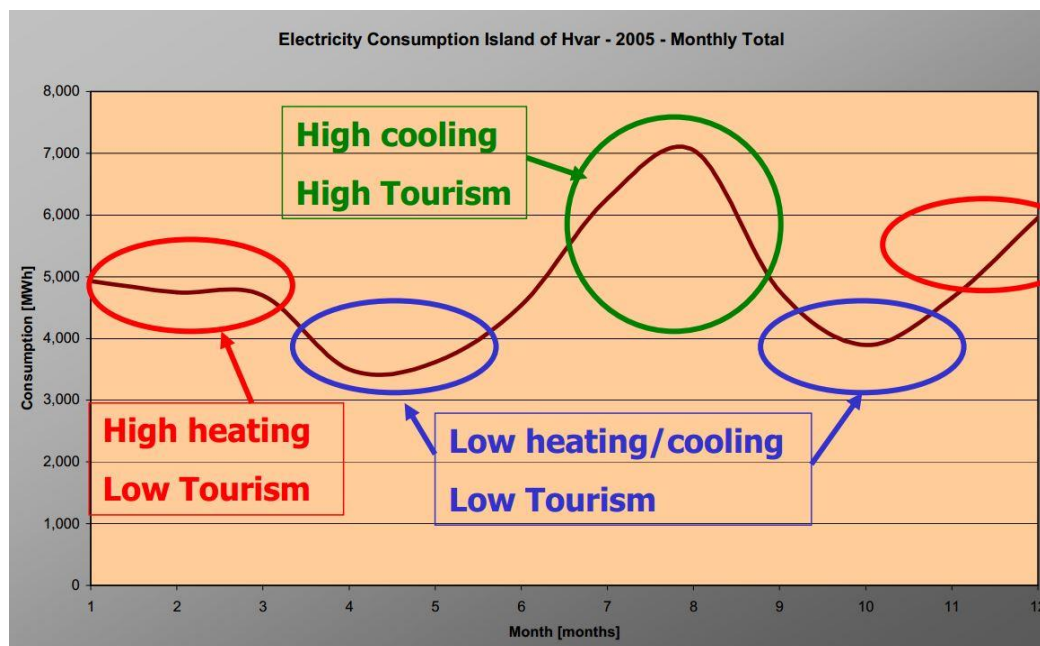
SEAP studija	Broj stanovnika	Zgradarstvo (MWh)	Javna rasvjeta (MWh)	Usluge i turizam (MWh)	Promet (MWh)
Otok Krk	19383	138048,695	2618,66393	43693,83566	32596,20054
Otok Lošinj	8116	57803,39517	1096,480238	18295,3707	13648,59741
Grad Korčula	5663	23399,6526	715,9314	10808,0521	9513,84
Otok Mljet	1088	4460,446081	146,989958	2452,607605	1829,678903
Otok Lastovo	792	3246,942368	107,0000429	1785,354065	1331,898613
Otok Unije	88	360,7713742	11,88889366	198,3726739	-

U prikazanoj tablici se mogu vidjeti podaci postojećih SEAP studija koji su služili kao podatkovna podloga potrošnje energije na hrvatskim otocima. Dobiveni podaci su vezani sa stanovnicima navedenih mjesta ili otoka te tako dobivene prosječne vrijednosti potrošnje po stanovniku otoka. Zatim je prosječna potrošnja otočnog stanovnika uzeta kao primjer za ostale otoke čiji su podaci nedostupni. Tablica prikazuje potrošnju energije u MWh na godišnjoj razini neovisno o energentu, no u većini slučajeva je glavni energent električna energija. Jedini sektor gdje ne prevladava električna energija je promet, gdje su dizel i benzin zastupljeni s 40% u dizelu i s 60% benzina. Iz dane tablice se vidi da se najviše energije na hrvatskim otocima potroši na zgradarstvo, zatim na promet i usluge, i turizam. Pomoću danih podataka je stvoren prosjek potrošnje energije navedenih otoka po stanovniku, na temelju broja kućanstva po m². Raspodjela potrošnje energije je ujednačena na skoro svim otocima zbog klimatskih uvjeta koji su skoro svuda jednaki, te oni i samim time i najviše utječu na zgradarstvo s najvećim udjelom potrošene energije. Prema navedenoj metodi ukupna potrošnja energije hrvatskih otoka iznosi 1 157 283,094 MWh godišnje. Od ukupne potrošnje energije na zgradarstvo otpada 649 821,1942 MWh (56,15%), na usluge i turizam 283 792,3981 MWh (24,52%), na promet 206 661,2231 MWh (17,86%) i na javnu rasvjetu otpada 17 008,27829 MWh (1,47%) godišnje.

Tablica 7 : Pojedini indikatori potrošnje energije

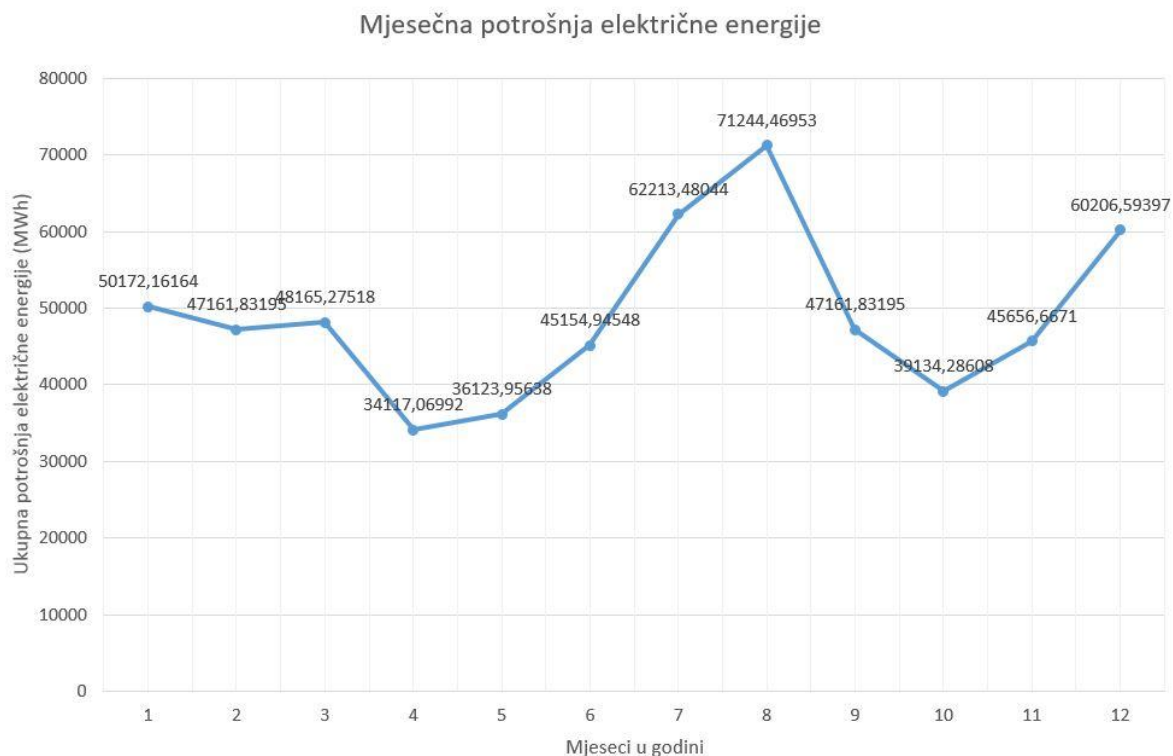
	Kućanstvo	Javna rasvjeta	Usluge i turizam	Potrošnja goriva ukupno	Benzin	Diesel
MWh	649821,194	17008,27829	283792,3981	206661,2231	123996,73	82664,489
MWh/stanovniku	5,16169441	0,135101064	2,254234931	1,641562463	0,9849375	0,656625
MWh/automobilu	-	-	-	4,923485417	2,9540913	1,9693942
MWh/m ² nastanjenog stambenog prostora	0,16683664	-	-	-	-	-

Vršna potrošnja energije na otocima je u ljetnim mjesecima radi vrhunca turističke sezone (maksimalnog broja turističkih noćenja), te je uzeta pretpostavka, da u prosjeku na svim otocima u isto vrijeme dolazi do maksimalne potrošnje energije. Kao primjer godišnje potražnje za električnom energijom je uzet otok Hvar u 2005. godini i koristit će se za aproksimaciju na ostale otoke.



Dijagram 1 : Krivulja potrošnje električne energije otoka Hvara [20]

Po dijagramu potrošnje električne energije vidi se da je vršna potrošnja ljeti zbog povećeg broja osoba na otoku i vremenskih prilika. Ljeti je zbog viših temperatura znatnije korištenje klimatizacijskih uređaja, kada su svi ugostiteljski objekti uključujući zanatske obrte (praonice rublja, glačalice itd.) u vršnome opterećenju. Najmanja potrošnja energije je tijekom proljeća i jeseni radi povoljnih klimatskih uvjeta, zahvaljujući geografskom položaju otoka, te malom broju stanovnika. Tijekom zimskih mjeseci ponovno raste potrošnja energije radi potreba grijanja. Glavni energent grijanja na otocima je električna energija i biomasa koji se koriste u podjednakim udjelima. Za grijanje se najviše koriste klimatizacijski uređaji, električni radijatori, te pojedinačne peći na drva. Izuzevši udio potrošnje prometa u SEAP studijama, od preostale potrošene energije otoka se ona u prosjeku svodi na 61% električne energije, a ostalih 39% je preraspodijeljeno na biomasu s 22%, loživu ulje s 13% i UNP 4%. Najveća potrošnja grijanja zimi s loživim uljem i UNP-om je na otoku Krku, koji ujedno broji i najveću populaciju stanovništva, te time i podiže prosjek hrvatskih otoka za navedeni energente. Vodeći se navedenim pretpostavkama dobivena je godišnja potrošnja električne energije hrvatskih otoka koja iznosi 586 512,57 MWh. Mjesečna raspodjela električne energije je vođena vršnim opterećenjem za otok Hvar, iz čega slijedi sljedeći dijagram.



Dijagram 2 : Krivulja godišnje raspodjele potražnje električne energije po mjesecima

Iz dijagrama se može očitati kako se najveća potrošnje električne energije postiže ljeti u 8. mjesecu i iznosi 71 244,47 MWh, dok je najniža potrošnja u proljeće (4. mjesec) i iznosi 34 117,1 MWh. U nastavku je zbog nedostataka podataka sa satnim opterećenjem na hrvatskim otocima korištena aproksimativna metoda. Do podataka se došlo putem prosječnog satnog opterećenja iz poznatih podataka za otoke Mljet, Lastovo, Korčulu, Lošinj i Unije koji su dostupni u SEAP studijama. Odabirom određenog dana u godini i korištenjem navedenih podataka su dobivene sljedeće krivulje satnog opterećenja za hrvatske otoke.



Dijagram 3 : Satne potrebe za električnom energijom 5. kolovoza

Dnevna prosječna potrošnja električne energije za otoke je ljeti i iznosi 2 300 MWh. Iz dijagrama satne potrebe za električnom energijom ljeti u 8. mjesecu pokazuje se kako je najveća potreba za električnom energijom navečer u razdoblju od 20 do 24 sata. Najmanja potreba za električnom energijom je noću od 2 sata do 7 sati ujutro.



Dijagram 4 : Satne potrebe za električnom energiju 15. siječnja

Tijekom zimskih mjeseci prosječna potrošnja električnom energijom, točnije u 1. mjesecu iznosi 1 600 MWh po danu. U dijagramu satne potrebe za električnom energijom u 1. mjesecu se vidi kako je vrhunac potrebe za električnom energijom od 18 sati do 22 sata navečer. Dok je tijekom dana poprilično jednaka potražnja za električnom energijom. Najmanja potreba za električnom energijom na otocima je po noći, točnije od 2 sata do 7 sati ujutro.

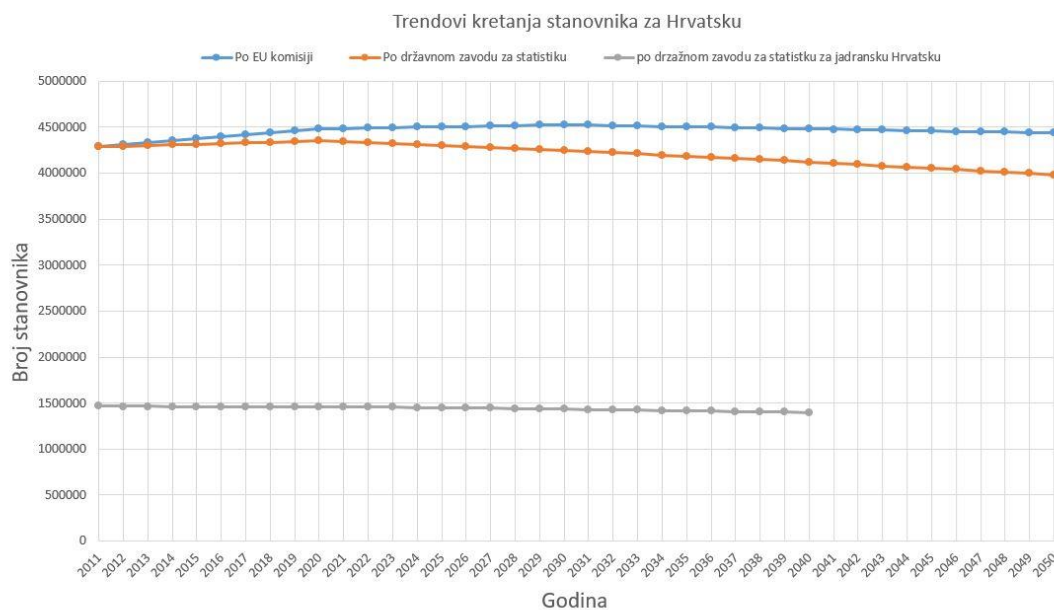
3.3.1 Projekcija potrošnje električne energije do 2050. godine

Prema studiji europske komisije s referentnom 2013. godinom „EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050“ [21] uzeti su podaci za trendove kretanja potrošnje električne energije, populacije stanovništva, te proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana i solarnih fotonaponskih ćelija.

Tablica 8 : Godišnja stopa promjene 2000.-2050. godine [21]

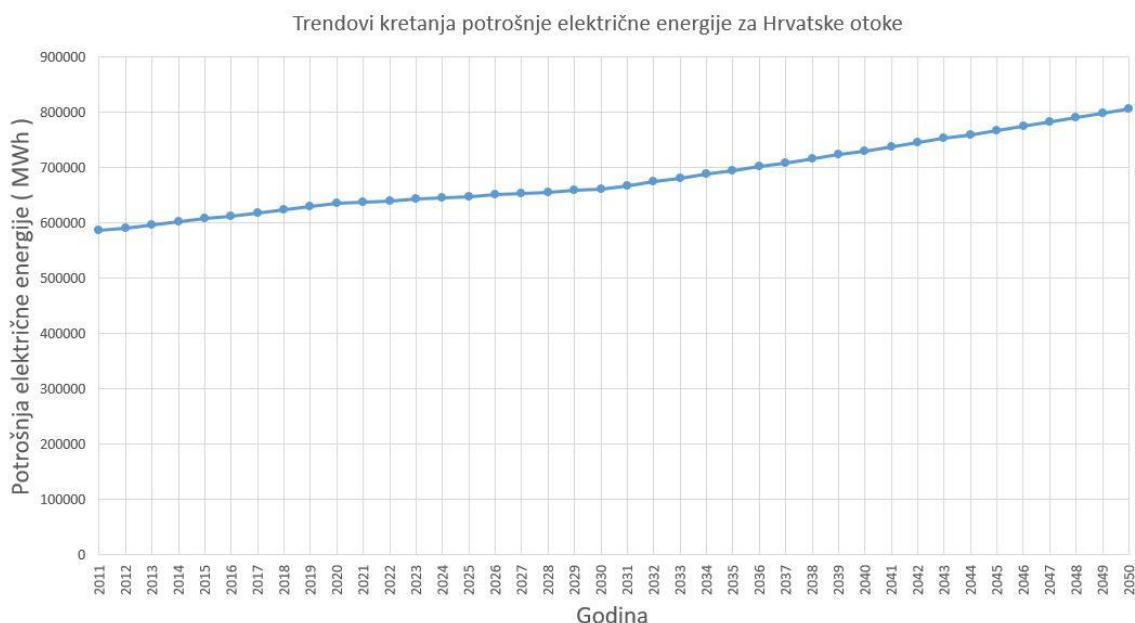
Trendovi europske komisije	2000.-2010.	2010.-2020.	2020.-2030.	2030.-2050.
	Godišnji postotak promjene (%)			
Populacija stanovništva Republike Hrvatske	-0,2	0,5	0,1	-0,1
Proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana	0	25	1,1	1,3
Proizvodnja električne energije iz solarnih fotonaponskih ćelija	0	76,8	22,8	6,3
Potrošnja električne energije kao finalni oblik	3,1	0,9	0,4	1

U danoj tablici su prikazani godišnji postoci promjene za razdoblja između 2000. do 2050. godine. U studijama je uzet u obzir razvoj novih tehnologija kao i energetska učinkovitost u zgradarstvu. Primjenom novih tehnologija i materijala, te educiranjem stanovništva ka ekološkom korištenju energenata je moguće smanjiti potrošnju električne energije na otocima. Postojeća situacija na hrvatskim otocima je takva da je većina objekata građena prije 20 ili više godina (bum izgradnja vikend objekata) s energetske neučinkovitim materijalima (osnovni građevinski materijal je betonska blok opeka slabih toplinskih karakteristika), te su zbog toga posljedično toplinski nepovoljni. Iz tablice je vidljivo kako je trend potrošnje električne energije od 2000. do 2010 godine bio rastući, radi rastućeg društvenog bruto proizvoda, te širom dostupnošću tehnologija većem broju stanovništva. Nakon veće stope rasta po projekcijama studije se predviđa da će godišnja stopa porasta potrošnje biti manja do 2030. Od 2030. na dalje se pretpostavlja maksimalno korištenje obnovljivih izvora energije kao i daljnji razvitak tehnologije, što dovodi do veće stope rasta u odnosu na godine između 2010. do 2030.



Dijagram 5 : Krivulja kretanja stanovništva RH u razdoblju od 2011. do 2050. godine

U danom grafu je temeljem studije europske komisije procijenjeno kretanje stanovništva republike Hrvatske. Isto tako su navedeni podaci projekcija državnog zavoda za statistiku za cijelu Hrvatsku kao i jadransku Hrvatsku. Podaci Državnog zavoda za statistiku se odnose za pretpostavku srednjeg fertiliteta sa srednjom migracijom. Ta pretpostavka koju primjenjuju je varijanta koja se nalazi između optimističnih i pesimističnih trendova te je zato ovdje usvajamo. Nažalost su projekcije za jadransku Hrvatsku rađene samo do 2040. godine. Trenutni podaci o trendovima kretanja stanovništva za otoke su nepoznati. [22]



Dijagram 6 : Krivulja kretanja procjene potrebe za električnom energijom

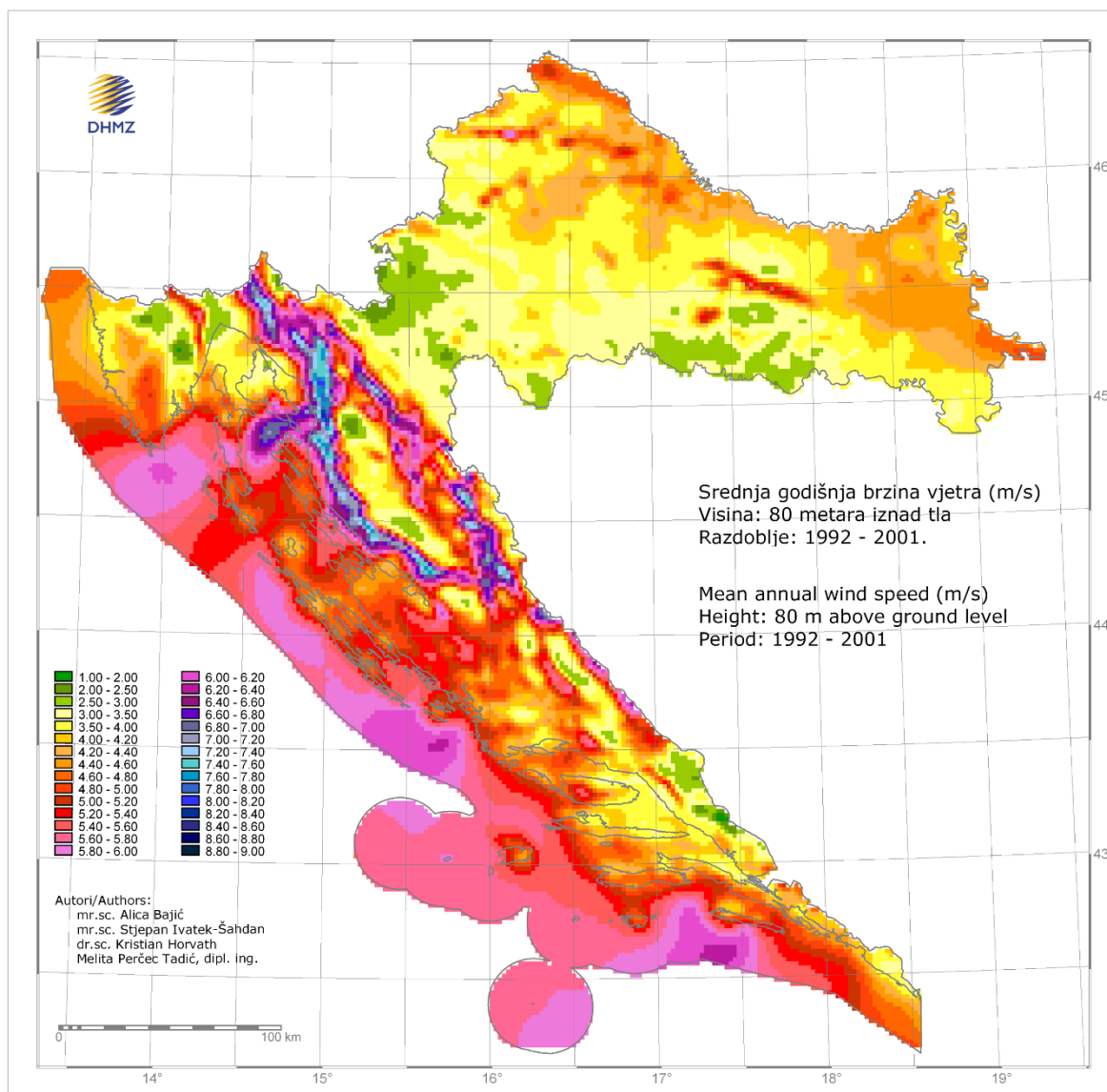
Korištenjem predviđanja iz tablice godišnje stope rasta u danom grafu pretpostavljena je potrošnja električne energije za hrvatske otoke. Kao referentna godina uzeta je 2011. te se iz grafa može uočiti konstantan rast potrošnje za električnom energijom. Smatra se da će do 2020. godine godišnja stopa rasta biti 0,9% godišnje, dok stopa rasta za razdoblje od 2020. do 2030. godine će biti manja i iznositi 0,4 %. Time se pretpostavlja da će godišnja potrošnja električne energije 2030. godine iznositi 661 660,1 MWh, dok bi zadržavanjem navedenih projekcija ona iznosila 807 351 MWh 2050. godine.

3.4 Potencijal proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije

Proizvodnja električne energije iz solarnih fotonaponskih panela i vjetroelektrana spada u obnovljive izvore energije, te tu leži velik potencijal hrvatskih otoka. Od obnovljivih izvora čiji potencijal zanemarujemo je biomasa i energija mora. Biomasi se zanemaruje zato jer se pretpostavlja da se ne grade postrojenja za obradu biomase. Energija mora se zanemaruje zbog premale razlike između plime i oseke u Jadranskom moru.

3.4.1 Potencijal vjetra

Vjetar kao i većina energetske izvora na Zemlji nastao je kao produkt Sunčevog zračenja. Vjetar nastaje ponajprije zbog nejednake distribucije temperature na Zemlji koja nastaje zbog nejednolike raspodjele Sunčevog zračenja koje dopire do Zemlje[30]. Za vjetroelevtrane za koje ćemo procijeniti potencijal rada je minimalna brzina vjetra za rad vjetroelevtrane $3.5 \frac{m}{s}$, dok maksimalna iznosi $25 \frac{m}{s}$. Gledano po regijama najveći potencijal za gradnju vjetroelevtrana ima područje uz Jadransko more, čime se izravno dovodi do zaključka da su otoci pogodni za izgradnju vjetroelevtrana. Podaci su korišteni iz „Atlasa vjetra Hrvatske“ [23]. Atlas sadrži karte srednje godišnje brzine vjetra i srednje godišnje gustoće snage vjetra na visinama 10 m i 80 m iznad tla. Za klimatsku sliku strujanja koja reprezentira razdiobu smjera i brzine vjetra na nekom prostoru potrebno je raspolagati rezultatima modeliranja u razdoblju od najmanje 10 godina. Korišteni su rezultati u 10-godišnjem razdoblju od 1992. do 2001. g. Isplativost instalacije vjetroelevtrane je pri minimalnoj godišnjoj prosječnoj brzini vjetra od $4 \frac{m}{s}$ - $5 \frac{m}{s}$.



Slika 8 : Srednja godišnja brzina vjetra na 80 metara od tla [24]

Iz priložene slike možemo zaključiti da je prosječna godišnja brzina vjetra na visini od 80 metara na svim hrvatskim otocima zadovoljavajuća. Problematika smještaja vjetroelektrane se odnosi na legislativu i lokaciju. Vjetroturbine narušavaju kvalitetu života faune, posebno ptičje populaciji, te stvaraju neugodnu buku (od oko 100 dB), što smeta životinjama a također je neugodno i ljudima. Legislativni problem je ZOP - Zaštićeni obalni pojas [25]– koji se definira kao pojas kopna 1000 m od obalne linije i pojas mora 300 m od obalne linije. Po članku 45. Zakona o prostornom uređenju iz 12. prosinca 2013. proizlazi da je gradnja vjetroelektrana na otocima moguća, ali na područjima koja su udaljena 1000 m od obalne linije, no dalje u članku 48 istoga zakona i nadalje se jasno ograničava "iskorištavanje snage vjetra za električnu

energiju" unutar područja ZOP-a. Povoljni smještajni prostori za vjetroelektrane su dani na sljedećoj slici.



Slika 9 : Makro lokacije vjetroparkova hrvatskih otoka

Za zadovoljavanje samodostatnosti otoka potrebno je oko 230 MW nazivne snage vjetroelektrana. U scenarijama će se koristiti turbine 2.3 MW (oko 80 metara) i 0,9 MW (oko 50 metara). Kako bi se navedena snaga postigla potrebno je postaviti oko 130 vjetroturbina. Optimalan omjer bi bio oko 80 turbina snage 2.3 MW i 50 turbina snage 50 MW. Minimalan razmak između pojedine turbine u vjetroparku je oko 100 metara. Iz slike se može vidjeti 19 pogodnih lokacija za postavljanjem vjetroparkova uzimajući u obzir ZOP, zaštitu okoliša i životinja, te ljudski faktor. Daljnje u radu je dana tablica brzina vjetra za 19 navedenih markolokacija. Iz tablice se vidi da prosječne brzine vjetra na tih 19 lokacija zadovoljava

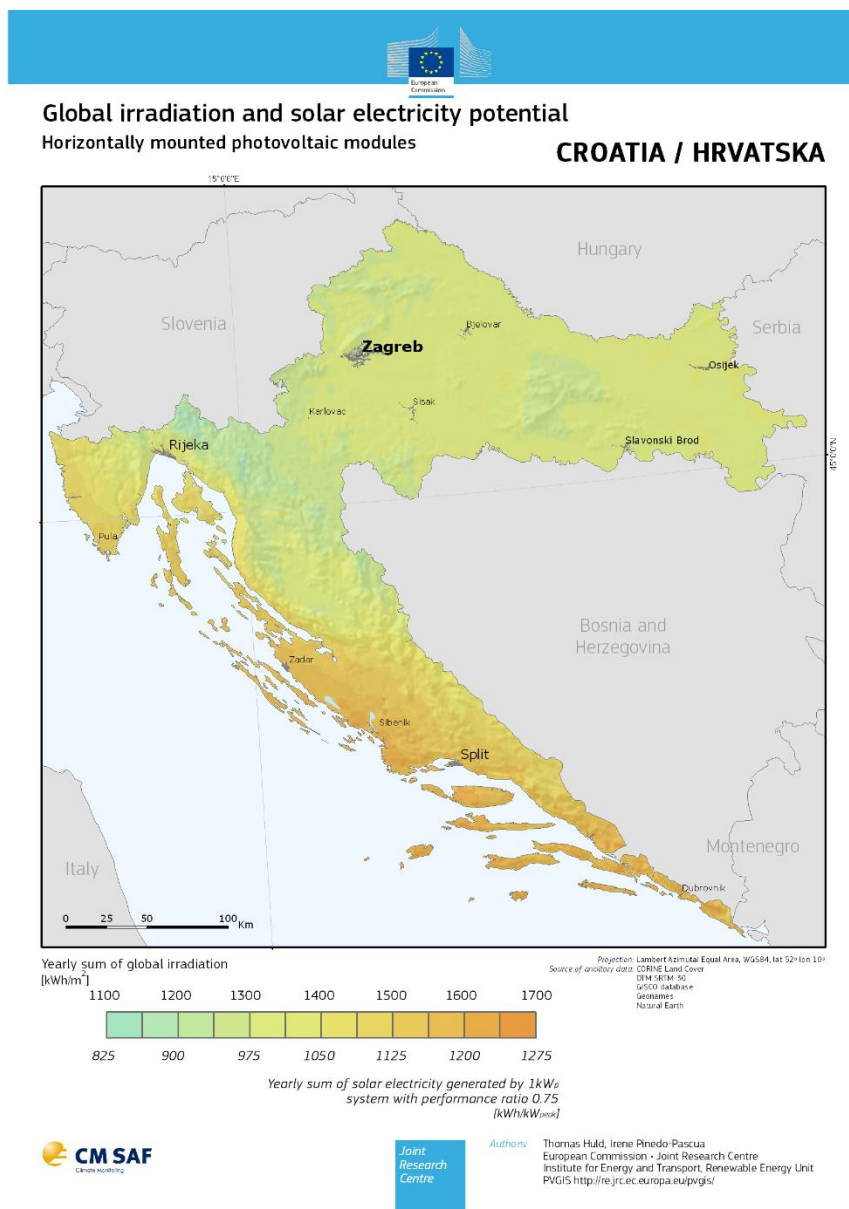
minimalne uvjete isplativosti vjetroelektrane. Na visini od 10 metara od tla ne zadovoljavaju sve lokacije, no na visinu od 80 metara od tla da. [23]

Tablica 9 : Brzina vjetra na visini od 10 i 80 metara za određene makro lokacije

Lokacija	Brzina vjetra na 10 metara visine (m/s)	Brzina vjetra na 80 metara visine (m/s)
Otok Krk-uz grad Krk	3,7	4,34
Otok Krk-uz mjest Staru Bašku	4,21	5,9
Otok Rab	3,31	5,2
Otok Cres	3,88	5,69
Otok Lošinj	3,16	5,32
Otok Pag - uz mjesto Mandre	4,46	5,34
Otok Pag - uz Paški most	4,62	5,88
Otok Pašman	4,54	5,28
Otok Šolta	3,9	4,55
Otok Vis	2,75	4,89
Otok Brač - Vidova gora	4,18	5,42
Otok Brač - uz mjesto Sumartin	2,79	4,05
Otok Brač - uz mjesto Nerežišća	3,25	4,61
Hvar - uz mjesto Milnu	3,19	4,71
Hvar - uz mjesto Humac	2,55	4,26
Korčula - u blizini Vele Luke	2,98	4,79
Korčula - uz mjesto Babine	3,88	4,62
Korčula - uz mjesto Žrnovo	2,98	4,44
Prosjek	3,5738889	4,9605556

3.4.2 Potencijal sunca

Proizvedena električna energija u nekom fotonaponskom sustavu najviše ovisi o količini dozračene Sunčeve energije. Količina Sunčevog zračenja na određenoj lokaciji ovisi o: zemljopisnoj širini, klimatološkim parametrima lokacije poput učestalosti i pojave naoblake i sumaglice, tlaku zraka, te o zasjenjenjima od okolnih objekata na lokaciji. Razlikujemo dva pojma: ozračenje u (W/m^2) i ozračenost u (Wh/m^2). Ozračenje je srednja gustoća dozračene snage Sunčevog zračenja. Ona je omjer snage Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Ozračenost je količina energije Sunčevog zračenja dozračena na jediničnu površinu plohe u određenom vremenskom razdoblju. Maksimalno ozračenje plohe moguće je ako se kontinuirano prati prividno kretanje Sunca na nebu [9]. Za fiksno postavljeni sustav određuje se vrijednost optimalnog kuta nagnute plohe. To je kut pod kojim je potrebno postaviti modul u odnosu na vodoravnu površinu da bi se dobila najveća moguća godišnja ozračenost. Optimalan kut za Hrvatsku iznosi od 33° do 35° . Hrvatska zahvaljujući svojem geografskom položaju ima vrlo povoljne uvjete za iskorištavanje sunčeve energije. [26]



Slika 10 : Sunčevo zračenje na horizontalnu površinu [27]

Iz priložene slike može se vidjeti kako ozračenje hrvatskih otoka za horizontalno postavljenu fotonaponsku ćeliju iznosi od 1300 W/m² do 1700 W/m². Kako bi elektrane fotonaponskih ćelija maksimalno iskoristavale dozračenu Sunčevu energiju potrebno ih je postaviti pod optimalnim kutom u odnosu na Sunce, koji okvirno iznosi za otoke od 33° do 35°.

3.5 Metodologija

U ovom poglavlju je pomoću ranije spomenutih podataka finalne potrošnje analiziran rad virtualne elektrane hrvatskih otoka u računalnom programu EnergyPLAN. Također su opisane osnovne značajke modela EnergyPLAN koji je korišten za scenarije.

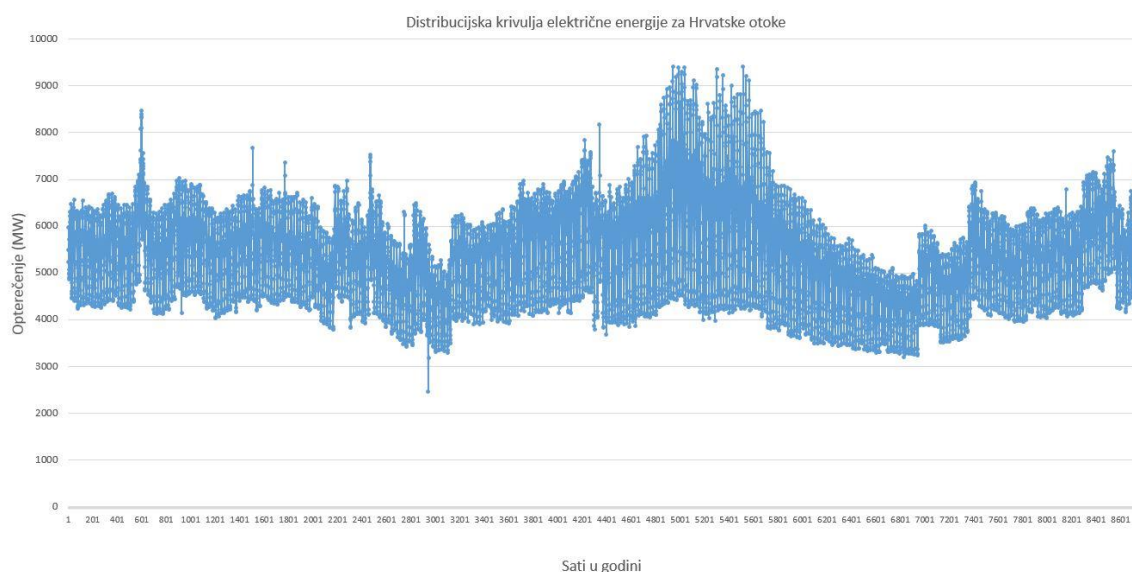
U navedenoj tablici je prikazana pretpostavljena potrošnja energije sektora po energentima koja je izvedena iz SEAP studija. Isto tako je navedena ukupna potrošnja pojedinog energenta. Vrijednosti su dobiveni iz ranije spomenutog poglavlja 3.3. i iskazane su u MWh godišnje.

Tablica 10 : Potrošnja energije po sektorima

Jedinica = MWh	Promet	Zgradarstvo	Javna rasvjeta	Usluge	Ukupno po energentu
Električna energija	0	396391	17008	173113	586512
Biomasa	0	142961	0	62434	205395
Loživo ulje	0	84477	0	36893	121370
UNP	0	25993	0	11352	37345
Benzin	123997	0	0		123997
Dizel	82665	0	0		82665
Ukupno po sektoru	206662	649821,19	17008	283792,4	

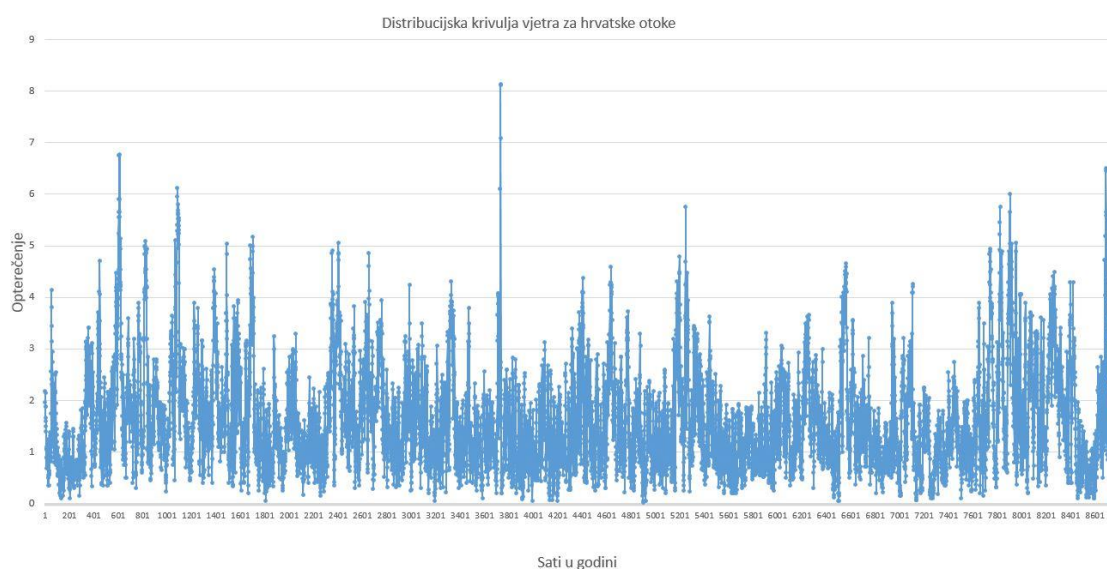
3.6 Distribucijske krivulje

Za analizu studija u EnergyPLAN-a potrebno je koristiti distribucijske krivulje potražnje električne energije, sunčevog zračenja i brzine vjetra za hrvatske otoke. Iz nemogućnosti postojanja navedenih krivulja za hrvatske otoke su korištene krivulje pojedinih otoka. Do distribucijskih krivulje se došlo putem prosječne vrijednosti za određene otoke. Iz ranije rađenih studija su poznate krivulje za otoke Mljet, Lastovo, Korčulu, Unije i Lošinj. Uprosječavanjem navedenih krivulja se dobiva prosječna krivulja potražnje električne energije hrvatskih otoka.



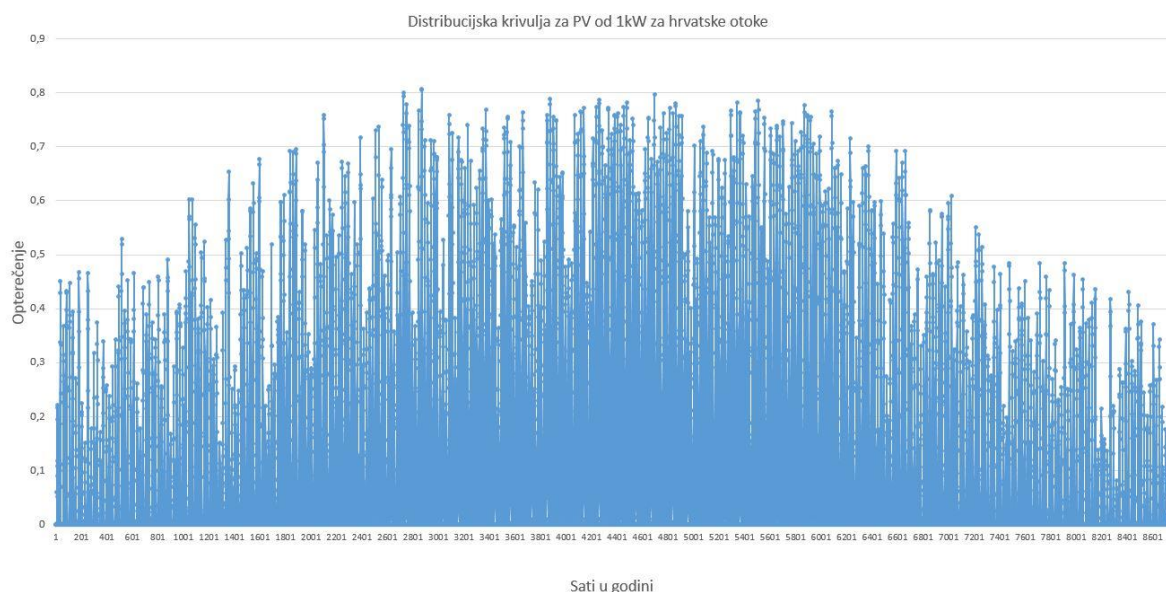
Dijagram 7 : Distribucijska krivulja električne energije za hrvatske otoke

Slika prikazuje distribucijsku krivulju elektroenergetskog opterećenja hrvatskih otoka za 366 dana u godini. Podijeljena je u 8784 sata. Krivulja je dobivena prema podacima iz 2015. godine za Lošinj, Unije, Lastovo i Korčulu dok je su za Mljet podaci iz 2002. godine. Na krivulji opterećenja se vidi kako je najviša potražnja za električnom energijom u ljetnim mjesecima kada je turistička sezona. Na jesen i proljeće je već prije spomenuto najmanja potrošnja pa time i potražnja. Navedenu krivlju ćemo koristiti za simulacije u EnergyPLAN-u.



Dijagram 8 : Distribucijska krivulje vjetra za hrvatske otoke

Dijagram prikazuje krivulju vjetra za hrvatske otoke. Do podataka se došlo tako da se uzela krivulju otoka Mljeta za južni Jadran te krivulja otoka Unija za sjeverni Jadran. Pomoću te dvije krivulje je konstruirana aproksimativna krivulja za sve otoke. Kako se vidi iz poglavlja 3.4.1 na većini otoka srednjeg i južnog Jadrana prevladavaju jednaki uvjeti brzine vjetra kao na otoku Mljetu, te otok Unije zadovoljava za područje sjevernog Jadrana.



Dijagram 9 : Distribucijska krivulja za PV od 1kW za hrvatske otoke

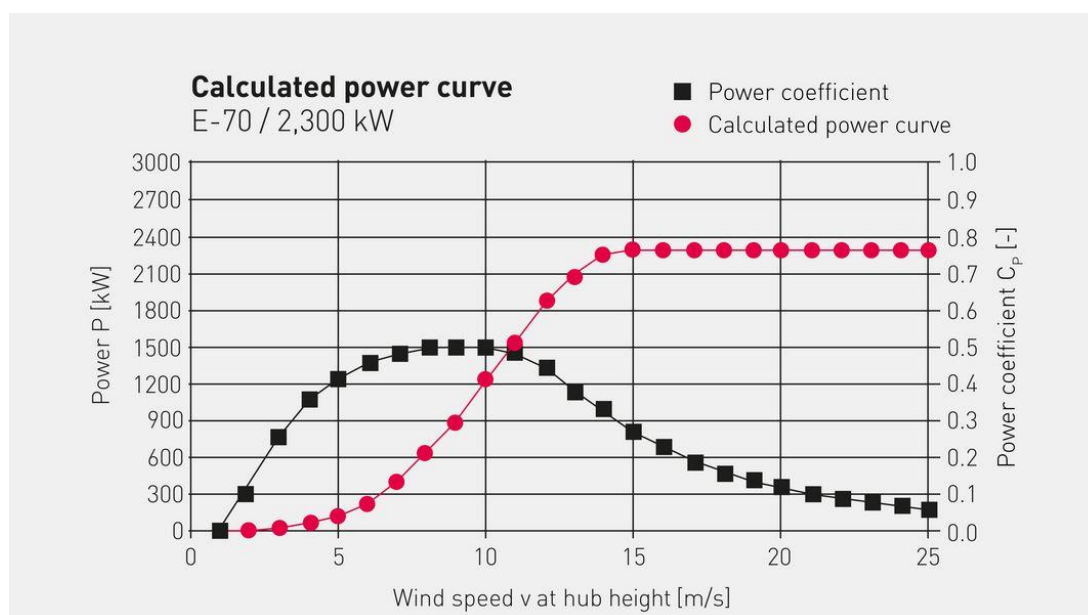
Na prikazanoj slici je dijagram krivulje za PV nazivne snage 1kW za hrvatske otoke. Do krivulje se došlo prosječnom vrijednošću za otoke Mljet u južnom Jadranu i otok Unije u sjevernom Jadranu. Iz poglavlja 3.2 se vidi da je isplativost postavljanja PV najbolja za južni Jadran, te da otok Unije zadovoljava vrijednostima za sjeverni Jadran. U daljnjim simulacijama će se navedena krivulja koristiti za Sunčevo zračenje. Za 1kW potrebno je 6,5-7 m² površine.

Ukupna površina nastanjenih stambenih objekata zajedno s obrtima i sezonskim stanovima iznosi 10 861 151,69 m². Mogućnost postavljanja solarnih panela je široka, kao na primjer na krovove obiteljskih kuća, zgrada, krovova parkirališta, te obrtničkih objekata. Na ukupnu stambenu površinu se primjenjuje aproksimacija da je većina objekata dvokatnica, te se dobiveni broj dijeli na pola i dobiva se 5 430 575,843 m². Dobiveni broj bi mogao biti moguća površina ugradnje solarnih fotonaponskih panela, no postoji još niz odstupanja koje treba uračunati. Prvo se množi broj s koeficijentom 0,7 radi odstupanja od pretpostavke dvokatnica i nepovoljnih objekata. Tako se dolazi do broja od 3 801 403 m². Zatim se na krovovima nalaze prozori, dimnjaci, kosine i antene koje zaklanjaju panele od izloženosti suncu. Radi toga se množi dobivena površina s koeficijentom 0,85 te dobiva površina od 3 231 192 m². Navedena površina se smatra neto površinom moguće ugradnje fotonaponskih panela. Pri iskoristivosti od 14 do 15 %, za 1 kW snage potrebno je od 6,5 do 7m² solarnih fotonaponskih panela, te ti uvjeti odgovaraju za hrvatske otoke. [28]

Tablica 11 : Instalirana snaga fotonaponskih panela na krovnim površinama

Iskorištenost ukupne površine (%)	Površina ugradnje (m ²)	Instalirana snaga (MWp)
10	323119	49,71065579
30	969358	149,1319674
50	1615596	248,553279
70	2261835	347,9745906

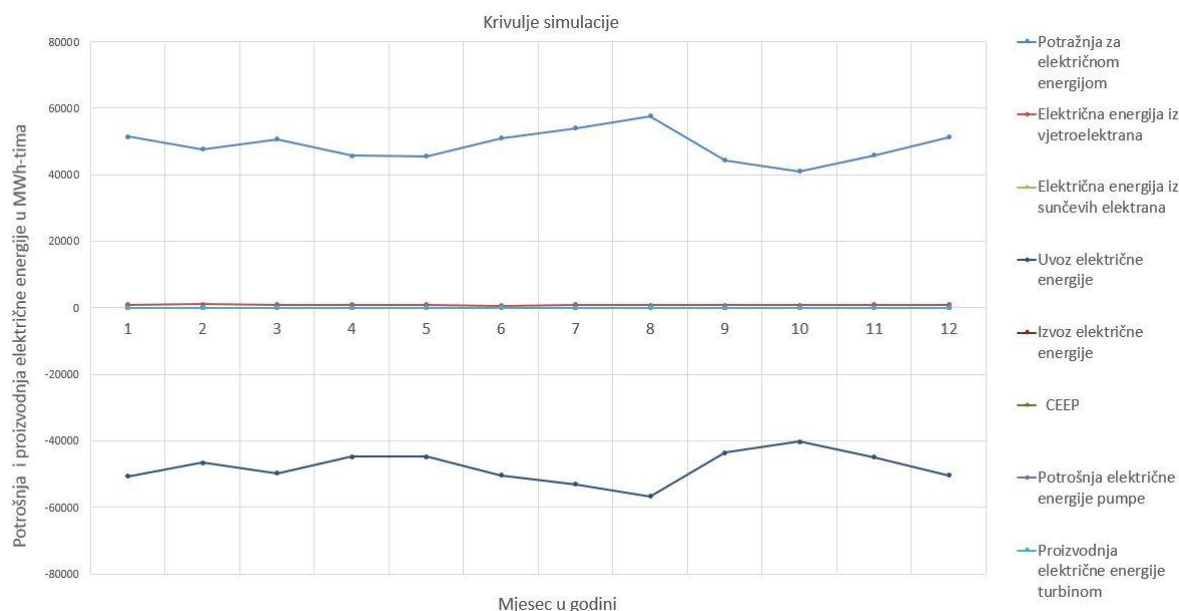
U tablici se vidi dobivena snaga fotonaponskih panela pri različitoj pokrivenosti krovne površine objekata. Uzeta je pretpostavka da je 6,5 m² dovoljna za 1kW nazivne snage. U tablici je naveden postotak iskorištene površine koji se kreće od 10% do 70% te služi za simulaciju u EnergyPLAN-u. Za simulaciju vjetroelektrana koriste se dva tipa turbina proizvođača Enercon. To su turbina E70 nazivne snage 2,3 MW i turbina E44 nazivne snage 0,9 MW. Visina ugradnje jače turbine je oko 80 metara dok visina manje i ujedno slabije, iznosi oko 50 metara. Daljnje u tekstu je prikazan dijagram snage u odnosu na brzinu vjetra jače turbine. Parametri slabije turbine su skoro identični jačoj pa se time neće posebno ovdje navoditi. [29]

**Dijagram 10 : Krivulja snage turbine E-70 u odnosu na brzinu vjetra [29]**

4. Proračuni i rezultati

4.1 Projekcije u EnergyPLAN-u

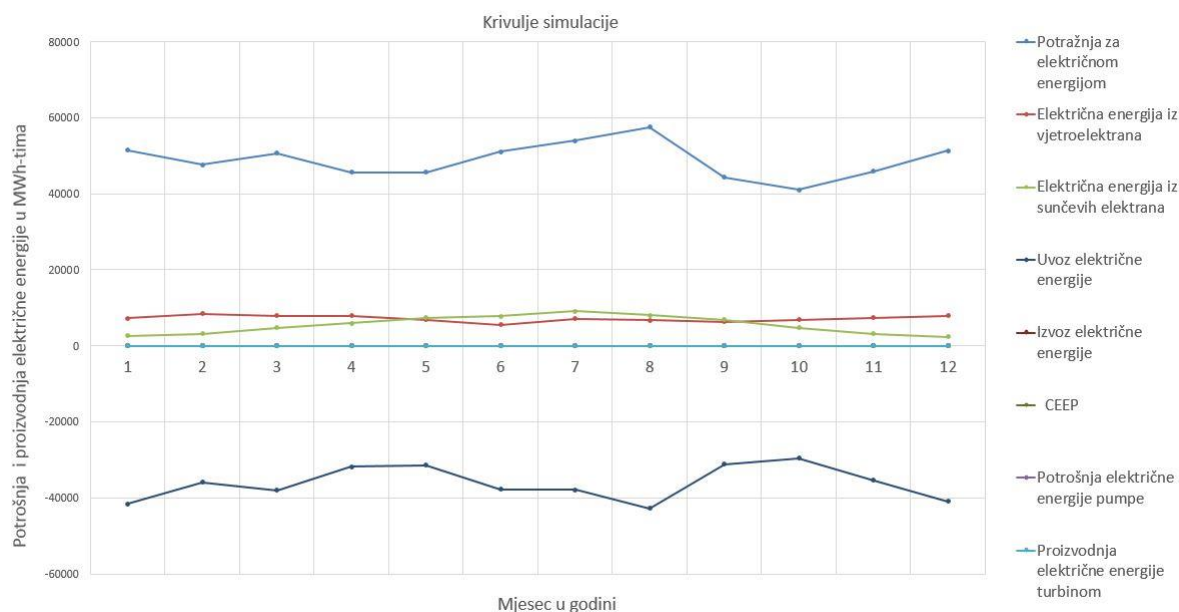
Postojeće stanje opskrbe električne energije i ostalih energenata je takvo da se „energija uvozi“ na otoke s kopnenih predjela. Postizanje samodostatnosti otoka na području električne energije znači to da otoci sami za sebe proizvode električnu energiju. Kroz sljedećih pet dijagrama je prikazano pet scenarija snabdijevanja otoka električnom energijom u EnergyPLAN-u. Kroz sve dijagrame se prati uvoz, izvoz, proizvodnja iz OIE, te potražnja električne energije. Kako bi otoci bili samodostatni potrebno je pohranjivati proizvedenu električnu energiju u spremnike jer proizvedena energije iz OIE ne odgovara u svakom trenutku potražnji. Za spremnike se u simulacijama koristi tehnologija s pumpom i turbinom koja puni spremnik, kapaciteta 15 GWh.



Dijagram 11 : Mjesečna raspodjela potražnje, uvoza, izvoza i proizvodnje iz OIE

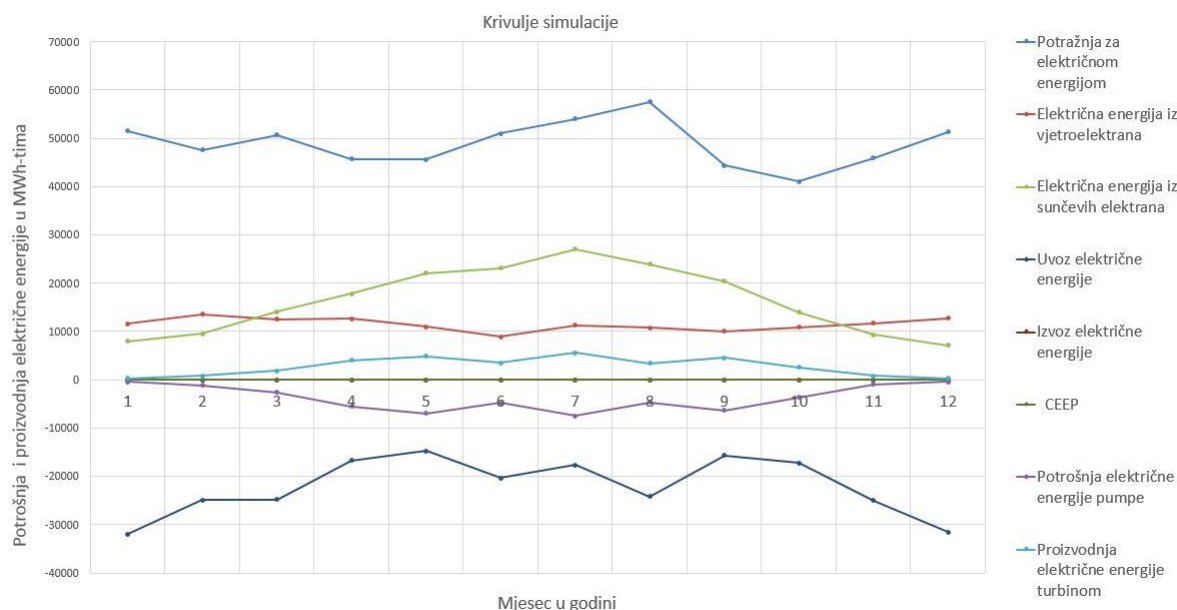
U dijagramu 11 je prikazana postojeća situacija mjesečne raspodjele potražnje, uvoza, izvoza i proizvodnje iz OIE na hrvatskim otocima. Vrijednosti su prikazane u ovom kao i u daljnjim dijagramima u MWh potrošnje električne energije raspodijeljeno na 12 mjeseci. Iz dijagrama se može uočiti da se skoro sva potreba za električnom energijom (krivulja tamnoplave boje) uvozi. Uvoz električne energije se smatra u navedenom kao i daljnjim scenarijima negativnim (nepoželjnim). Otoci su u prvom scenariju potpuno ovisni o energetskej mreži republike Hrvatske, te je uzeta u obzir vjetroelektrana Ravne 1 na Pagu nazivne snage 6 MW. Isto tako

se smatra da je trenutna proizvodnja iz sunčevih vjetroelektrana vrlo mala, odnosno da se ukupna nazivna snaga na svim otocima zajedno kreće oko 0.1 MW.



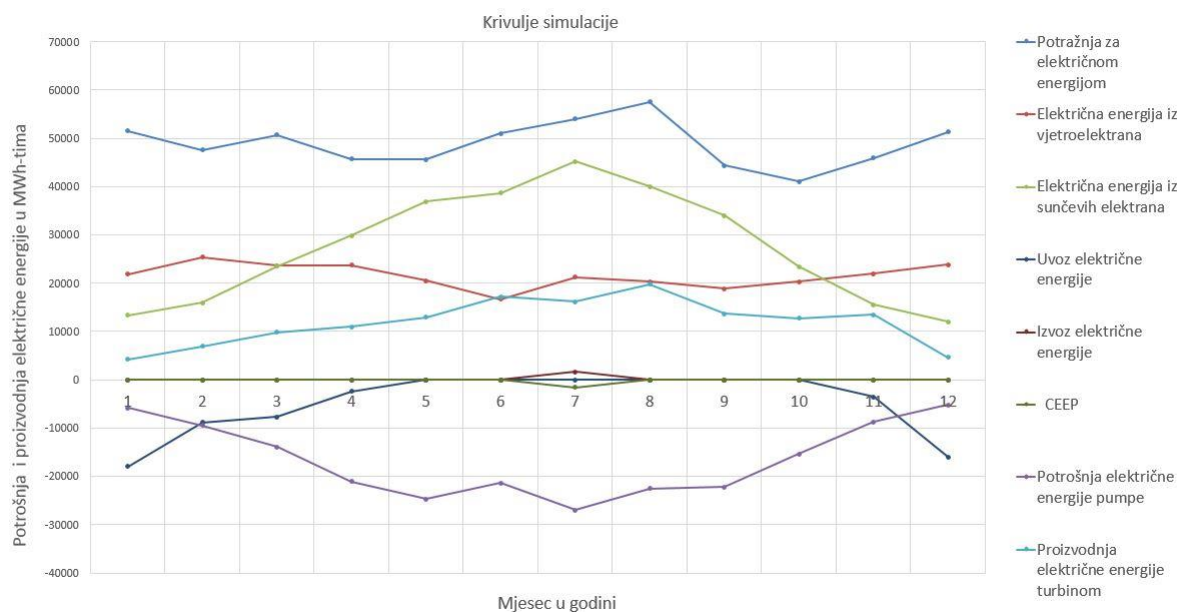
Dijagram 12 : Simulacija s 10 % krovne površine za fotonaposke module odn. 50 MW i 50MW nazivne snage iz vjetroelektrana

U dijagramu 12 je simulacija rađena s 10 % iskorištene krovne površine za fotonaposke module odnosno 50 MW i 50 MW nazivne snage iz vjetroelektrana. Vjetroelektrane se mogu rasporediti po otocima po poglavlju 3.4.1. Iz dijagrama se vidi da i dalje potražnja veća od opskrbe. Krivulja uvoza električne energije je manja nego u prvom scenariju no i dalje nedostatna. Krivulja crvene boje prikazuje količinu proizvedene električne energije iz vjetroelektrana, dok je zelena krivulja električna energija iz solarnih fotonaponskih modula instaliranih na građevinama. Navedeni scenarij je lako i brzo ostvariv na otocima.



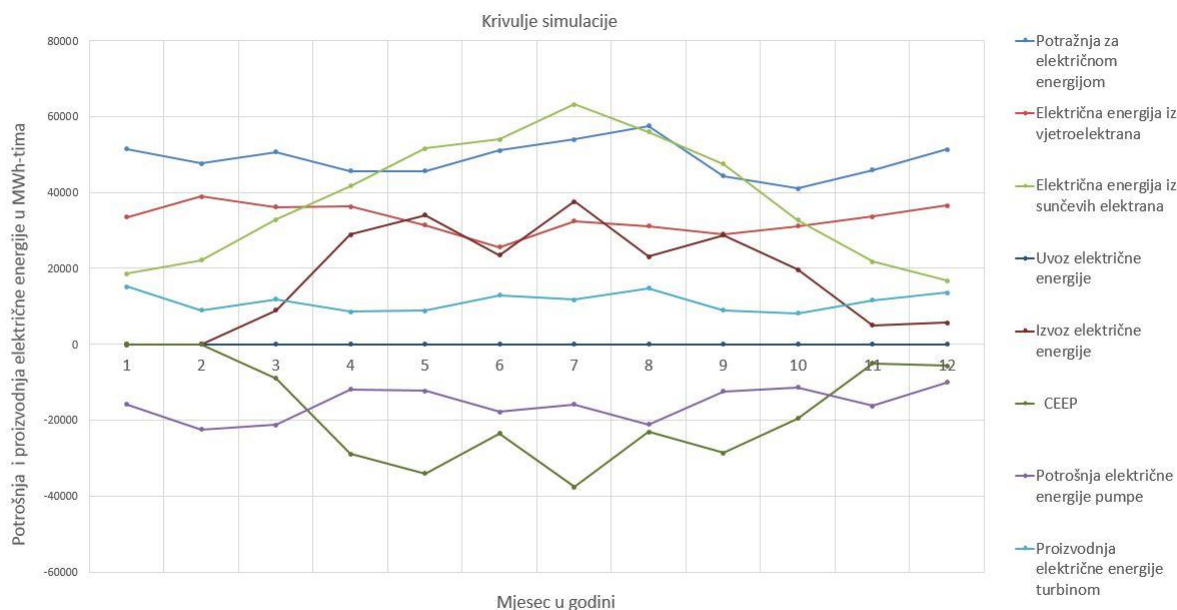
Dijagram 13 : Simulacija s 30 % krovne površine za fotonaponske module odn. 149MW i 80MW nazivne snage iz vjetroelektrana

U dijagramu 13 je pokriveno je 30% krovova fotonaponskim modulima što daje 149 MW nazivne snage. Uz solarne panele je postavljeno 80 MW nazivne snage vjetroelektrana. Ni navedeni udio penetracije OIE u sustav ne dovodi do samodostatnosti. Ovdje možemo uočiti da se u određenim vremenskim razdobljima električna energija pohranjuje u spremnik. Navedena pojava je popraćena dvjema krivuljama. Ljubičastom bojom je prikazan krivulja potrošnje električne energije od strane pumpe (negativna krivulja) dok je svijetloplavom bojom prikazana proizvodnja električne energije iz spremnika. Ovdje se već uočava da je vrhunac proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana u zimskim mjesecima, dok je iz solarnih fotonaponskih panela ljeti.



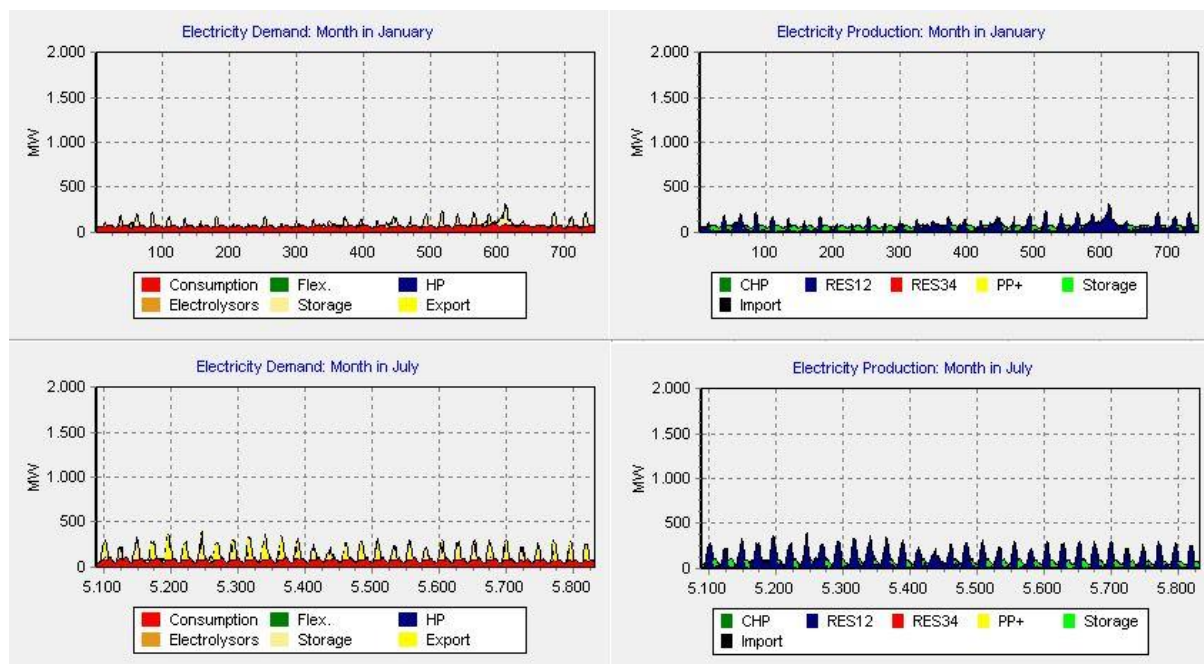
Dijagram 14 : Simulacija s 50 % krovne površine za fotonaposke module odn. 249MW i 150MW nazivne snage iz vjetroelektrana

U dijagramu 14 je 50% krovova pokriveno što daje nazivnu snagu od 249 MW iz solarnih panela. Uz to je instalirano 150 MW u vjetrotubinama. U navedeni scenarij je uključena vjetroelektrana nazivne snage 6 MW na Pagu i postojeće sunčeve elektrane. Iz dijagrama se vidi kako u ljetnim mjesecima, gdje OIE imaju veliki potencijal, po prvi puta snabdijeva otoke električnom energijom. Može se uočiti da se prvi puta vidi i krivulja izvoza električne energije u mrežu republike Hrvatske, koja je ovdje označena krivuljom tamnocrvenom bojom. Zanimljivo je da dolazi do izvoza energije u ljetnim mjesecima kada je ujedno i maksimalna potražnja za električnom energijom. Razlog tome je velika količina električne energije iz solarnih panela radi velike osunčanosti otoka i dugačkih dana.



Dijagram 15 : Simulacija s 70 % krovne površine za fotonaponske module odn. 348MW i 230MW nazivne snage iz vjetroelektrana

U dijagramu 15 je postignuta samodostatnost otoka. Instalirano je 348 MW nazivne snage solarnih fotonaponskih panela. Ta snaga odgovara pokrivenosti od 70 % svih raspoloživih površina. Uz to je postavljeno vjetroparkova nazivne snage 230 MW. Uz pomoć balansiranja sa spremnikom električne energije nema potrebe za uvozom električne energije što se vidi iz dijagrama. Krivulja uvoza (tamnoplava krivulja) je kroz cijelu godinu nula. Najveći izvoz električne energije je u proljeće i početak jeseni, te vrhuncu ljeta radi već ranije navedenih razloga. Krivulja CEEP je obrnuto proporcionalna izvozu električne energije iz virtualne elektrane. Isto tako se u finalnom scenariju vidi kako se iz spremnika nikada povratno ne dobije ista količina energije, radi koeficijentata iskoristivosti pumpe i turbine.



Slika 11 : Potražnja i proizvodnja električne energije za siječanj i srpanj [12]

Na navedenoj slici su prikazani grafovi iz EnergyPLAN-a za zadnji scenarij, scenarij samodostatnih hrvatskih otoka. Prikazane su potrebe za električnom energijom kao i proizvodnjom za mjesec siječanj i srpanj. U dijagramima proizvodnje vidi se kako se u večernjim i noćnim satima crpi električna energija iz spremnika, koji se napunio u trenucima viška električne energije. U ljetnim mjesecima je znatno veći izvoz viška električne energije koji se proizvede nego u zimskim mjesecima.

5. Zaključak

U ovome radu prikazan je postupak planiranja energetskeg sustava hrvatskih otoka s ciljem postizanja samodostatnosti otoka s obzirom na električnu energiju. Mjere kojima se nastojala postignuti samodostatnost je korištenje OIE. U radu je težište stavljeno na energetske potencijale vjetra i sunca, pošto navedenim resursima hrvatski otoci obilato raspolažu. Prvotno su prikupljeni dostupni podaci za otoke. Zatim je razvijena metodologija izračuna finalne potrošnje energije hrvatskih otoka. Kako je u radu težište stavljeno na električnu energiju koja se ujedno i najviše koristi na otocima, dobivena je finalna potrošnja električne energije. Za postojeće stanje uzet je podatak da trenutna godišnja potrošnja električne energije na otocima iznosi 586 512,57 MWh. Pomoću podataka Državnog zavoda za statistiku i podataka Europske komisije je kreirana procjena kretanja stope rasta potrošnje električne energije u nadolazećim godinama.

U drugom dijelu rada je procijenjen potencijal vjetra i sunca na otocima, te su određene makro lokacije za primjenu tehnologija stvaranja energije iz vjetra i sunca.

U trećem dijelu rada su napravljene projekcije ostvarivanja samodostatnosti hrvatskih otoka u računalnom programu EnergyPLAN. Obradilo se pet scenarija virtualne elektrane na otocima. Prvi scenarij prikazuje postojeće stanje na otocima na kojima se sva električna energija uvozi. U drugom do četvrtom scenariju se postepeno uvode OIE u sustav. U scenarijima se solarni paneli postavljaju na krovne površine građevina u postotcima pokrivenosti od 10% do 70% raspoložive krovne površine. Drugi obnovljivi izvor energije, vjetar, varira s ukupnom nazivnom snagom elektrana od 50 MW do 230 MW. U petom scenariju je pomoću 70% pokrivenosti raspoloživih krovnih površina solarnim panelima nazivne snage 348 MW i 230 MW nazivne snage vjetroparkova postignuta samodostatnost hrvatskih otoka električnom energijom. Time se može zaključiti kako se primjenom novih tehnologija i obnovljivih izvora energije (OIE) može postići energetska nezavisnost slabije dostupnih mjesta, te ujedno i očuvanje prirodnog ekosustava i okoliša.

6. Literatura

- [1] Skupina autora; Tools and Methods for integrated resource planning; Improving Energy Efficiency and Protecting the Enviroment; 1997
- [2] <http://nachhaltigkeit-info.de/inseln-autarke-versorgungssysteme-fuer-regenerative-energie/>
- [3] http://www.energienpoint.de/fileadmin/templates_energienpoint/Aufbau_eines_Windrades.png
- [4] http://www.sibenik.in/upload/novosti/2014/05/2014-05-27/23433/vj3_1.jpg
- [5] <http://wac.450f.edgecastcdn.net/80450F/nj1015.com/files/2012/03/wind.jpg>
- [6] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana>
- [7] http://www.solarna-tehnologija.com.hr/shared_images/prvastrana/sl1.jpg
- [8] Skupina autpra: Prelazak Hrvatske na 100% obnovljivih izvora energije; Zagreb, prosinac 2015.
- [9] Ante Žiher; Završni rad; Zagreb 2014.
[http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/supervision_of_bsc_thesis/Zavrsni_rad_Ante_Ziher.pdf].
- [10] <http://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/vis-je-prvi-otok-s-vlastitim-izvorom-energije/20413/>
- [11] Ivan Bačeković; Završni rad: Zagreb 2015;
http://powerlab.fsb.hr/neven/pdf/supervision_of_bsc_thesis/Zavrsni_rad_Ivan_Bacekovic.pdf
- [12] EnergyPLAN, <http://www.energyplan.eu/training/introduction/>
- [13] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Croatian_islands_map.png
- [14] Ivan lajić, Roko Mišetić; Demografske promjene na hrvatskim otocima na početku 21. stoljeća
- [15] Institut za turizam; Hrvatski turizam u brojkama; 04/2015
- [16] Skupina autora, Akcijski plan energetske održivosti razvitka grada Krka, Rijeka 2012.
- [17] Skupina autora, Akcijski plan energetske održivosti razvitka grada Korčule, Zagreb 2014.
- [18] Skupina autora, Akcijski plan energetske održivosti razvitka općine Mljet, Zagreb 2014.
- [19] Skupina autora, Akcijski plan energetske održivosti razvitka općine Lastovo, Zagreb 2014.
- [20] Island_of_Hvar_Croatia_Renewable_Energy_Potential_Final_Presentation_2006
- [21] <http://ec.europa.eu/transport/media/publications/doc/trends-to-2050-update-2013.pdf>

- [22] Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske; Projekcije stanovništva Republike Hrvatske od 2010. do 2061. ; Zagreb 2011.
- [23] Atlas vjetra Hrvatske; <http://mars.dhz.hr/web/index.htm>
- [24] Državni hidrometrološki zavod ; www.klima.hr
- [25] Zakon Republike Hrvatske; Zakon o prostornom uređenju;
<http://www.zakon.hr/z/689/Zakon-o-prostornom-ure%C4%91enju>
- [26] <http://www.solvis.hr/hr/advice/suncevo-zracenje-na-podrucjuhrvatske/?action=IngChng>
- [27] Institute for Energy and Trasnport; <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [28] <http://www.sol-navitas.hr/o-solarnim-elektranama/>
- [29] <http://www.enercon.de/en/products/ep-2/e-70/>
- [30] Nikola Matek ; Završni rad; Zagreb 2013.